



Escola Politècnica Superior  
d'Enginyeria de Vilanova i la Geltrú

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

# PROJECTE FI DE CARRERA

**TÍTOL: EXTRACCIÓ DE BOR EN MEDI SULFATS MITJANÇANT  
2-BUTIL-2-ETIL-1,3-PROPANODIOL (BEPD)**

**AUTOR:** Marina Buendía Capdevila

**TITULACIÓ:** Enginyeria Tècnica Industrial, especialitat en Química Industrial

**DIRECTOR:** Dra. M. Teresa Coll Ausio

**DEPARTAMENT:** Enginyeria Química

**DATA:** 27 de Gener del 2010

**Aquest Projecte té en compte aspectes mediambientals:   • Sí   • No**

## **PROJECTE FI DE CARRERA**

### **RESUM (màxim 50 línies)**

En aquest projecte s'ha estudiat una possible manera d'extreure bor, a partir de l'àcid bòric en medi sulfats, mitjançant un extractant específic com és el 2-butil-2-etil-1.3- propanodiol (BEPD). Per fer això s'han realitzat diversos experiments utilitzant dues tecnologies diferents; l'extracció líquid-líquid i l'extracció mitjançant membranes líquides suportades.

L'extracció líquid-líquid ha permès que s'estudiés el comportament que té el bor quan entra en contacte amb dos modificadors de fase diferents, com són el Tributíl fosfat (TBP) i el decanol.

Gràcies als resultats que s'han obtingut experimentalment, durant aquestes proves, s'ha proposat un model matemàtic d'on s'han trobat les constants d'extracció de l'àcid bòric i la seva relació estequiomètrica.

Un cop determinat quin modificador de fase és el més efectiu per a extreure bor, s'han variat les característiques de la fase orgànica, on s'hi troben aquests, modificant la concentració dels reactius que allà s'afegeixen. Això ens ha permès estudiar quines són les condicions de la fase orgànica que més afavoreixen l'extracció del bor.

Per altra banda, amb la tecnologia de les membranes líquides suportades, s'ha estudiat quina permeabilitat té el bor a través d'aquestes.

### **Paraules clau (màxim 10):**

BEPD	Querosè	Bor	Extracció líquid-líquid
Membrana líquida suportada	Stripping	Permeabilitat	

Agraïments:

En primer lloc vull donar les gràcies a les cinc persones més importants de la meva vida, com és la meva família, mama, papa, Mònica, Jordi i Marc, que sense vosaltres no puc entendre una altra manera de vida que no sigui amb amor i felicitat. Gràcies per donar-me cadascun dels moments tan meravellosos que em feu viure.

En segon lloc vull donar les gràcies, també, als meus professors Teresa Coll i Agustí Fortuny, els què m'han ajudat durant tot aquest any i amb els que he viscut molt bons moments. Gràcies per la vostra ajuda.

No em vull oblidar tampoc de totes aquelles persones que, d'una o altra manera, han aportat un petit gra de sorra en aquest període tant especial.

A Cristina, gran cunyada i companya de "Messenger", gràcies per la immensa companyia, per totes les converses i, sobretot, per tota l'ajuda que m'has donat quan l'he necessitat.

Gràcies també vull donar, a les meves nenes Alba i Saray, per ser tan bones amigues i per donar-me suport sempre que l'he necessitat. Gràcies per seguir amb mi des de petites.

No vull oblidar-me de tota la meva gent d'Almeria, en especial de María una gran amiga amb la que em sento molt unida i amb la què estic sempre amb contacte.

Donar també les gràcies a María i Juana, companyes d'universitat i amigues, que encara que estiguem lluny us portaré sempre al meu record. Gràcies per tots els fantàstics moments que hem viscut.

Però sobretot gràcies a tu Jordi, sense tu aquesta vida no té sentit. Gràcies pel suport incondicional que m'has donat. Agrair-te el feliç que em fas la vida...NO M'IMAGINO UNA VIDA SENSE TU!

A tots, de veritat, moltes gràcies que sense cadascun de vosaltres, tot això no hagués sigut tant fàcil, tant distret i tant positiu.

# ÍNDEX

---

<b>1. Introducció i objectius.....</b>	<b>1</b>
<b>2. El bor.....</b>	<b>3</b>
2.1. Història del bor .....	3
2.2. Propietats del bor .....	3
2.3. Toxicitat del bor .....	4
2.3.1. Toxicitat per a les plantes .....	4
2.3.2. Toxicitat per a l'home .....	5
2.4. Compostos derivats del bor.....	5
2.5. Aplicacions industrials.....	7
<b>3. Extracció líquid-líquid .....</b>	<b>9</b>
3.1. Introducció a l'extracció líquid-líquid.....	9
3.2. Fases que intervenen al procés d'extracció líquid-líquid .....	10
3.2.1. Fase aquosa, FA .....	10
3.2.2. Fase orgànica, FO .....	11
3.3. Aplicacions de l'extracció líquid-líquid.....	13
3.4. Avantatges i inconvenients .....	14
<b>4. Procés de membrana .....</b>	<b>15</b>
4.1. Introducció a les membranes .....	15
4.2. Membranes líquides .....	17
4.3. Membranes líquides suportades (SLM).....	19
4.4. El transport a les membranes líquides suportades .....	20
4.5. Avantatges i inconvenients de les membranes líquides suportades.....	20
<b>5. Part experimental.....</b>	<b>23</b>
5.1. Anàlisi del bor.....	23
5.1.1.- Reactius utilitzats i la seva preparació.....	23
5.1.2.- Realització de les mesures.....	25
5.2.- Eliminació del bor mitjançant extraccions líquid-líquid.....	26
5.2.1. Equipament utilitzat.....	26
5.2.2. Reactius utilitzats.....	28
5.2.3. Procediment .....	29
5.2.4. Assaigs i resultats.....	30
5.3. Modelització de les constants d'extracció.....	36
5.3.1.- Determinació del coeficient estequiomètric de la reacció.....	36
5.3.2.- Determinació de les constants d'extracció.....	39
5.4 . Eliminació de bor mitjançant processos de membrana.....	47
5.4.1. Equipament utilitzat.....	47
5.4.2. Reactius utilitzats.....	48
5.4.3. Procediment.....	49
5.4.4. Assatjos i resultats.....	50
5.5. Modelització de les membranes líquides suportades.....	53
<b>6. Conclusions.....</b>	<b>59</b>
<b>7. Bibliografia.....</b>	<b>61</b>
<b>8. Annexes</b>	

## 1.- Introducció i objectius

Cada cop més, la nostra societat pren més consciència i s'involucra més amb la protecció el medi ambient, el desenvolupament industrial ha fet que augmenti de forma progressiva l'abocament de substàncies contaminants a les nostres aigües. Per aquesta raó s'han creat una nombrosa quantia de normes i controls que s'encarreguen de comprovar i verificar la concentració d'aquests contaminants a les aigües.

En canvi, no s'ha seguit aquest control amb el bor, tot i que és una substància molt utilitzada per tots nosaltres, tant en la vida quotidiana on el podem trobar als sabons i productes de neteja, com a l'agricultura, com a la indústria.

Segons l'annex II de la Llei 26-20-93, núm. 10/1993, s'estableix un valor màxim instantani d'abocament de 3 mg/l per al bor, prohibint la seva dilució per aconseguir nivells de concentració que possibilitin la seva evacuació al sistema integral de sanejament.

L'objectiu principal d'aquest projecte és l'eliminació de bor de solucions aquoses mitjançant un procés d'extraccions líquid-líquid i un procés de membranes planes líquides suportades.

Mitjançant la primera tecnologia s'ha pogut observar i estudiar quina és l'eficàcia de l'extracció líquid-líquid a diferents condicions, per a poder eliminar bor. Un cop fet tots els assaigs s'ha pogut, gràcies a les dades obtingudes, s'ha pogut determinar un model matemàtic que ens ajudarà a predir el comportament de l'extracció líquid-líquid a qualsevol condició.

En el segon procés, al igual que en el primer, s'ha pogut observar quina és l'eficàcia de les membranes planes líquides suportades per extreure bor, variant les condicions d'aquestes.

A la indústria, i concretament al camp de la mecanització mecànica, s'utilitza la taladrina, que és una substància molt tòxica, que conté entre d'altres, concentracions de bor, i serveix per a refrigerar i lubricar la zona de contacte entre la màquina que s'utilitza i la peça que s'està construint. Amb el pas del temps aquesta taladrina va perdent les seves propietats fisicoquímiques degut a les altes condicions de temperatura a les que s'arriba durant el procés i per l'acumulació de substàncies contaminants que s'hi adhereixen a ella i la fan malbé.

Per llei està totalment prohibit abocar la taladrina al clavegueram i, per desfer-nos d'ella, s'ha de portar a una planta depuradora. Però desgraciadament hi ha qui fa cas omís i es desfà d'aquesta tirant-la al clavegueram, un cop aquesta es fa malbé. Degut a això, aquestes arriben a l'aigua de mar i creen un problema molt greu per al planeta i pels éssers que hi vivim.

Per aquesta raó un dels objectius d'aquest projecte és trobar un procés de depuració de les aigües de les taladrines, i un altre és recuperar el bor que contenen aquestes.



## 2.- El bor

### 2.1.- Història del bor

Els compostos de bor es coneixent des de fa molts anys, quan la societat de l'antic Egipte ja depenia d'un mineral que contenia sals comunes i borat, com és el natró, per a dur a terme la momificació. Per altra banda a la Xina, al 300 aC., utilitzaven cristalls de bòrax .

Gràcies al bòrax ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ), el científic Homberg l'any 1702 va obtenir l'àcid Bòric ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ).

No va ser fins l'any 1808 i gràcies als estudis fets pels científics J. Gay-Lussac i L.T. Thénard (França) i H. Davy (Anglaterra), quan es va obtenir la primera molècula de bor impura mitjançant la reducció del seu òxid ( $\text{B}_2\text{O}_3$ ) amb l'ajut de potassi, encara que cap d'ells va reconèixer la substància , i va ser al 1824 quan Jöns Jacob Berzelius ho va fer. Tot i això, el bor pur no va ser produït fins l'any 1909 pel químic nord-americà W. Weintraub.

### 2.2.- Propietats del bor

El bor no es troba a la natura com a substància pura, si no que es presenta en forma de dos isòtops estables: el  ${}^5\text{B}_{10}$  (19,78 %) y el  ${}^5\text{B}_{11}$  (80,22 %).

Es troba a la taula periòdica al primer lloc del grup III-A. Degut a que és l'únic element no metall del seu grup, té propietats químiques més properes a les del Silici i Carboni, que a qualsevol element del seu grup. És semiconductor elèctric. Té com a única propietat metàl·lica la brillantor que presenten els seus cristalls, de color negre o vermell.

Té un punt de fusió molt elevat i per aquesta raó és difícil produir bor amb una puresa elevada. A temperatura ambient no es veu afectat per l'aire, però quan s'arriba a temperatures més elevades forma l'òxid ( $\text{B}_2\text{O}_3$ ) i el nitrur (BN). És soluble en metalls fosos com el magnesi, l'alumini, el ferro i el coure, en àcid sulfúric i àcid nítric, i insoluble en aigua, solucions àlcalis i alcohols.

El seu primer potencial d'ionització és molt elevat i els dos següents encara ho són més, per aquesta raó podem dir que és un element poc reactiu i que té molt poca tendència a cedir electrons. La seva estructura electrònica és la següent  $1s^2 2s^2 2p^1$ .

<b>Símbol</b>	B
<b>Número atòmic</b>	5
<b>Pes atòmic (g/mol)</b>	10.811
<b>Valencia</b>	3
<b>Estat d'oxidació</b>	+3
<b>Densitat (g/cm<sup>3</sup>)</b>	2.34
<b>Punt d'ebullició (°C)</b>	4002
<b>Punt de fusió (°C)</b>	2300
<b>Entalpia de fusió (kJ/mol)</b>	22.18
<b>Entalpia de vaporització (kJ/mol)</b>	480
<b>Volum atòmic</b>	4.6
<b>Estructura cristal·lina</b>	Romboèdrica

Taula 1. Propietats del bor

## 2.3.- Toxicitat del bor

El bor en sí mateix no és una substància ni tòxica, ni contaminant, i fins i tot, en molts casos, arriba a ser una substància essencial. El problema es troba quant aquest, apareix en altes concentracions a qualsevol indret del planeta. Degut a l'abocament exhaustiu de residus, que contenen bor a l'aigua de mar, estem ocasionant un problema molt greu, ja que té tendència a acumular-se al teixit dels animals i dels vegetals.

Aquesta acumulació és deguda, a que sovint, hem de fer ús de l'aigua del mar per tal de poder atendre les necessitats aquífères de la població; és per això, que procedim a la seva dessalinització. En aquest procés, és impossible eliminar l'àcid bòric que conté. Així és com entra a la cadena alimentària, o bé, a través de la ingesta directa de l'aigua, o també, menjant aquells vegetals que hagin estat regats per aquest tipus d'aigua.

### 2.3.1.- Toxicitat en les plantes

El bor és un nutrient essencial per a les plantes i per al creixement d'aquestes. Desenvolupa un paper fonamental en el manteniment de l'estructura de la paret cel·lular i de les membranes.

Es coneix que hi ha d'haver un marge de relació entre la concentració de bor que serveix com a nutrient, i el bor que es denomina com a contaminant, de tal manera que una planta necessita una concentració mínima de bor per a poder desenvolupar les seves funcions vitals, però si aquesta concentració augmenta, pot arribar al punt de ser perillosa i tenir efectes negatius per a la mateixa planta.

Cal dir que no totes les plantes tenen la mateixa tolerància davant el bor. Unes són més tolerants que d'altres, d'aquesta manera s'ha dir que les plantes amb una alta sensibilitat al bor acostumen a tardar molt poc temps a acumular-lo dins la seva estructura, i per altra banda, les plantes poc sensibles al bor,



tarden molt més temps a fer-ho. Dins del món de les plantes les espècies més sensibles al bor són els cítrics i les fruites que acumulen el bor a la seva pell.

Tant l'abundància com la carència de bor en les plantes es detecta d'una manera molt visible en elles, ja sigui perquè la planta pot deformar-se, pot mostrar símptomes de despigmentació a les fulles (pèrdua del color verdós), apareixen taques cloròtiques irregulars i fins i tot pot produir la pròpia mort de la planta.

### 2.3.2.- Toxicitat en l'home

Podem dir que l'exposició de l'ésser humà amb el bor pot ser casi descartable, ja que una de les poques vies de contacte que hi pot tenir amb aquest és mitjançant els sabons o detergents. Però per altra banda, la pell tolera molt bé el bor i l'absorbeix de forma molt lenta, despreciant així la intoxicació mitjançant aquesta via. L'únic contacte agressiu diari que pot tenir l'ésser humà amb el bor és a través de la ingestió d'aliments i d'aigua.

## 2.4.- Compostos derivats del bor

En aquest apartat podria explicar centenars de compostos que estan formats per bor, però m'he volgut centrar únicament en el bòrax (perquè podríem denominar-lo com la “mare” del bor ja que es va obtenir bor a partir de bòrax i la gran majoria de compostos estan formats per aquest) i en el àcid bòric (que és el principal compost que s'ha utilitzat al projecte).

Com ja s'ha esmentat abans, el bor no es troba en estat pur a la naturalesa, si no que prové de certs minerals. A continuació es mostra una taula amb els principals compostos que es troben a la natura que contenen bor.

NOM	FÒRMULA	(B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )%	ORÍGEN
Colemenita	2CaO·3B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·5H <sub>2</sub> O	50.9	Turquia i Argentina
Kernita	Na <sub>2</sub> O·2B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·4H <sub>2</sub> O	50.9	E.E.U.U.
Hidroboracita	CaO·MgO·3B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·6H <sub>2</sub> O	50.5	Argentina
Ulexita	Na <sub>2</sub> O·2CaO·5B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·16H <sub>2</sub> O	43	Turquia i Xile
Szaibelita	2MgO·B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·H <sub>2</sub> O	41.4	Xina
Tincal	Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> ·10H <sub>2</sub> O	36.5	E.E.U.U. i Turquia

Taula 2. Principals compostos de bor

### - Bòrax:

Un dels compostos més importants del bor és el bòrax ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ), al que també podem denominar borat de sodi o tetraborat de sodi.

La font natural del bòrax la trobem als dipòsits d'evaporites, que són uns dipòsits de minerals que s'han produït per l'evaporació continua dels llacs estacionaris. Presenta

És un cristall de color blanc que és soluble en aigua. Al aire lliure es deshidrata molt lentament, convertint-se en tincalconita. El bòrax presenta un comportament anfòter en solució, d'aquesta manera permet controlar el pH en productes químics de base aquosa i en dissolucions. Quan qualsevol òxid metàl·lic es fusiona amb el bòrax, aquest té la propietat de dissoldre'l.



Figura 1. Fotografia del bòrax

Fórmula	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$
Densitat ( $\text{kg/m}^3$ )	0.0017
Massa molar ( $\text{g/mol}$ )	381.4
Punt de fusió ( $^{\circ}\text{C}$ )	74.85
Solubilitat en aigua	55g en 100g d'aigua
Entalpia de formació ( $\text{kJ/mol}$ )	-6289

Taula 3. Propietats del bòrax

### - Àcid bòric:

L'aplicació més important dels borats és la producció d'àcid bòric ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ). L'àcid bòric es pot obtenir fent que el mineral entri en descomposició mitjançant àcid sulfúric, llavors mitjançant una cristal·lització fraccionària es podrà separar el sulfat metàl·lic, deixant sola la molècula d'àcid bòric.

L'àcid bòric està compost per molècules de  $\text{B}(\text{OH})_3$  i aquestes s'uneixen a altres molècules a través de ponts d'hidrogen. Aquestes unions fa que la molècula tingui una estructura triangular.

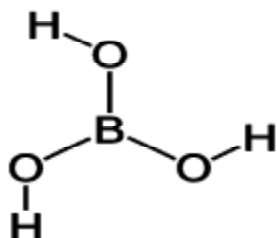


Figura 2. Molècula d'àcid bòric

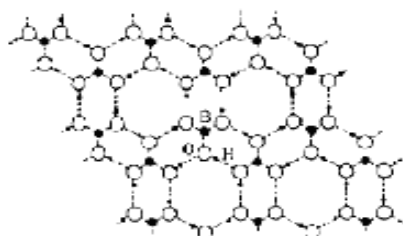
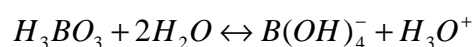


Figura 3. Estructura de l'àcid bòric

Al igual que el bor, l'àcid bòric és una molècula poc reactiva i té poca tendència a cedir protons en dissolució aquosa, per lo tant, es pot veure que és un àcid dèbil amb un  $pK_a$  de 9.2.

A l'estudiar la seva dissociació s'ha vist que aquest es comporta com un àcid de Lewis, ja que accepta parelles d'electrons. Això es pot explicar d'una manera més clara a continuació.

El més lògic seria pensar que en la dissociació de l'àcid bòric aquest s'ionitza eliminant un protó de la seva estructura per acabar formant l'anió  $H_2BO_3^-$ . Doncs està demostrat que no segueix aquest comportament, si no que el que fa és formar un  $B(OH)_4^-$  i  $H_3O^+$  per l'addició d'un  $OH^-$ . Per tant, la seva reacció de dissociació és la següent:



Per altra banda l'àcid bòric és una molècula estable i soluble en aigua, però la seva solubilitat és directament proporcional a la temperatura. És a dir, que com més elevada sigui la temperatura, més soluble serà.

<b>Fórmula</b>	$B(OH)_3$
<b>Fórmula molecular</b>	$H_3BO_3$
<b>Aparença</b>	Sòlid blanc cristal·lí
<b>Massa molar (g/mol)</b>	61.8
<b>Densitat (<math>kg/m^3</math>)</b>	1.4
<b>Punt de fusió (<math>^{\circ}C</math>)</b>	168.85
<b>Punt d'ebullició (<math>^{\circ}C</math>)</b>	184.85
<b>Entalpia de formació (gas) (kJ/mol)</b>	-992.28
<b>Entalpia formació (sòlid) (kJ/mol)</b>	-1093.99

Taula 4. Propietats de l'àcid bòric

## 2.5.- Aplicacions industrials de l'àcid bòric

### 1.- Agricultura:

A concentracions elevades, degut a la seva gran toxicitat, es comporta com un excel·lent insecticida i herbicida. També té la característica de que si es barreja amb aigua, preveu els riscos d'incendi de la vegetació morta i seca.

A concentracions mínimes, l'àcid bòric conté propietats molt beneficioses per als conreus, com ja s'ha esmentat anteriorment, és un element essencial que contribueix en el creixement de les collites i degut a això, s'utilitza com a fertilitzant i en la fabricació d'agents de control de creixement biològic.

## **2.- Farmàcia:**

L'àcid bòric és una substància que s'utilitza molt com a component antisèptic, i en particulars per a aplicacions i rentats de la pell. Des de fa molts anys s'utilitza com a component que combat l'acne de la pell, i sobretot, per a curar i desinfectar cremades de caràcter lleu. Cal a dir, que una aplicació abusiva d'aquest component a la pell, pot originar cremades, les quals no desapareixen mai.

Una altra aplicació en aquest camp és que s'utilitza com a desinfectant dels productes infantils, i sobretot, com a conservant dels productes farmacèutics i cosmètics.

## **3. Indústria del vidre i esmalts**

S'utilitza l'àcid bòric per a millorar certes propietats del vidre com pot ser el color, la duresa, la brillantor, entre moltes altres. També s'utilitza per a que el vidre aconseguixi tenir un baix coeficient de dilatació (vidre de pyrex).

Es troba un altra aplicació de l'àcid bòric en aquest camp, ja que és essencial en la fabricació del vidre òptic, ja que amb aquest element es pot aconseguir un índex de refracció necessari.

## **4.- Indústria nuclear:**

S'utilitza molt a la indústria nuclear per a reduir la possibilitat d'accidents nuclears, degut a que si es barreja amb aigua i es diposita dins els dipòsits nuclears, reacciona i actua com a nucli de condensació de productes de fisió, al condensar els vapors del bor.

## **5.- Indústria orgànica:**

Degut a la seva gran reactivitat amb els polialcohols, l'àcid bòric té una gran aplicació dins la indústria petroquímica. Altres derivats del bor s'utilitzen en aquest camp com a catalitzadors, com a reactius o com a intermediaris de reaccions.

### 3.- Extracció líquid-líquid

#### 3.1.- Introducció a l'extracció líquid-líquid

L'extracció líquid-líquid és una operació unitària de transferència de matèria que té lloc entre dues fases (fase aquosa i fase orgànica) que són totalment immiscibles.

L'eficiència de l'extracció bé donada per l'afinitat que té l'extractant vers el solut que ha de ser extret, per la solubilitat que tingui l'extractant a la fase aquosa i també, pel volum que hi hagi a cada una de les fases.

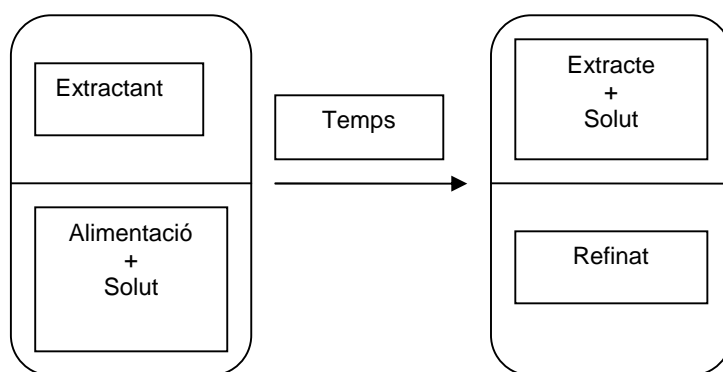
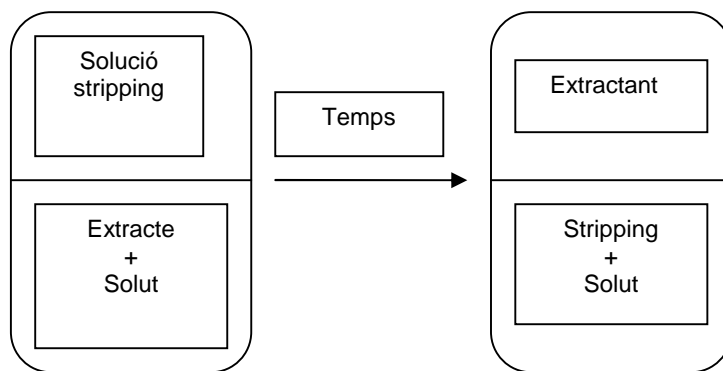


Figura 4. Transferència del solut a les fases a l'extracció

Es pot separar l'extracció en dues etapes, totes dues amb el mateix caràcter d'importància. A la primera etapa és on es produeix el contacte entre les dues etapes i és llavors quan el solut es transfereix de la fase aquosa a la fase orgànica. Per altra banda, a la segona etapa es quan es procedeix, per decantació, a la separació de les dues fases.

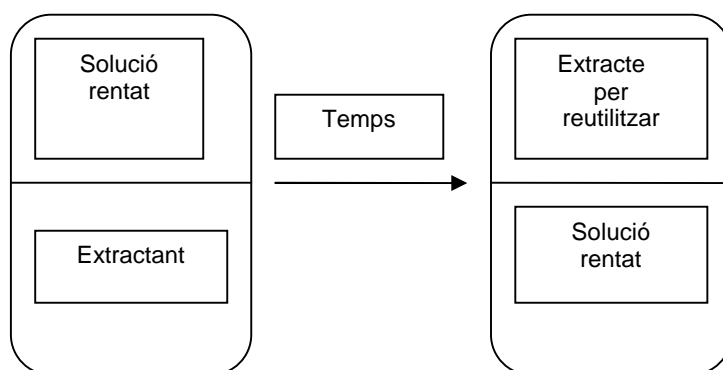
Tota extracció, per a que sigui més eficient i més completa, bé seguida per un parell de processos més; el procés d'stripping i el procés de rentat.

L'stripping es realitza després de l'extracció un cop s'ha dut a terme la separació de les dues fases mitjançant una decantació i serveix per poder extreure el solut que es troba a la fase orgànica afegint una nova fase aquosa que mitjançant una agitació es ficarà en contacte amb la fase orgànica. Després d'això es tornaran a separar les dues fases.



**Figura 5. Transferència del solut a les fases a l'stripping**

El rentat serveix per aconseguir tenir la fase orgànica que s'ha utilitzat en l'extracció en les condicions d'inici i així poder-la tornar a utilitzar.



**Figura 6. Esquema del procés de rentat de l'extractant**

### 3.2.- Components de l'extracció líquid-líquid

#### 3.2.1.- LA FASE AQUOSA (FA)

És en aquesta fase on es troba el solut que es vol extreure en aquest projecte. En el nostre cas el solut que es vol extreure és el bor, i és eliminant de la fase aquosa en forma d'àcid bòric.

Hi ha uns certs factors que poden fer variar les propietats de l'extracció, i fins i tot, poden variar el procés d'extracció.

- La concentració d'agents salins
- La concentració de solut
- El pH

La concentració d'agents salins, en aquest cas són els ions sulfats ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) i els ions sodi ( $\text{Na}^+$ ), fan que augmenti la densitat de la fase aquosa i així es millor la separació de les fases.

El rendiment de l'extracció també es veu perjudicat segons si la concentració del solut és molt elevada, ja que pot ocasionar que l'agent extractant no treballi en bones condicions.

El pH de la fase aquosa pot influir molt en l'extracció ja que depenent de si aquest és àcid o bàsic pot ajudar a la formació de complexos entre l'agent extractant i el solut. Aquesta és la raó per la qual en aquest projecte es treballa en condicions lleugerament àcides (rang de pH entre 5-6), ja que així s'aconsegueix tenir àcid bòric en el medi. Si es treballés a pH bàsic, es formarien borats, el qual condueix a reduir la quantitat de bor extret degut a que els borats no tenen les propietats físiques adequades davant l'agent extractant utilitzat per a l'extracció del bor. Aprofitem aquest fer per realitzar l'stripping i recuperar el bor de la fase orgànica.

### 3.2.2.- LA FASE ORGÀNICA (FO)

És una fase que ha de ser totalment immiscible amb la fase aquosa, degut a que és l'encarregada d'extreure el solut que hi ha a la fase aquosa. És molt freqüent que la fase orgànica contingui altres compostos, tals como un dissolvent orgànic, un modificador de fase i l'agent extractant.

#### DISSOLVENT ORGÀNIC

És un líquid orgànic i com es troba dins la fase orgànica, al igual que ella, interessa que sigui totalment immiscible amb la fase aquosa. Aquest és el que conté l'agent extractant. Com el seu nom indica "dissolvent", serveix per a que la fase orgànica no sigui tant viscosa i d'aquesta manera ajuda a que hi hagi un bon contacte entre les dues fases.

Per altra banda, algun extractant pot trobar-se en estat sòlid, com en el nostre cas, per això es necessita un dissolvent que el dissolgui.

El dissolvent orgànic que s'utilitza en aquest projecte és el querosè (dissolvent alifàtic), i a continuació es mostren les seves característiques:

PROPIETATS	SEGURETAT
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pes molecular <math>\bar{M}</math> 170.34 g/mol</li> <li>- Densitat del vapor: 4.5g/ml</li> <li>- Densitat : 0.8 g/ml (25°C)</li> <li>- Pressió del vapor : 0.23 mmHg (20°C)</li> <li>- Punt d'ebullició : 200-250 °C</li> <li>- Temperatura d'autoignició: 227.78°C</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Codi de perill : Xn</li> <li>- Declaracions de risc : 65</li> <li>- Declaracions de seguretat : 23-24-62</li> <li>- Punt d'inflamació : 82°C</li> </ul>

Taula 5. Propietats del querosè

## **MODIFICADOR DE FASE**

És un reactiu que s'afegeix a la fase orgànica amb la finalitat de millorar totes les propietats d'aquesta; millora el procés d'extracció, millora la solubilitat de l'agent extractant amb el dissolvent orgànic, millora la separació de les fases, millora la solubilitat dels complexos formats amb el solut.

S'ha de controlar la quantitat de modificador de fase que s'afegeix a la fase orgànica, ja que si es troba en excés pot descontrolar el procés d'extracció. En aquest projecte s'ha utilitzat decanol com a modificador de fase.

A continuació és mostra una taula amb les propietats del decanol:

Fórmula molecular:  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_9\text{OH}$

PROPIETATS	SEGURETAT
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pes molecular : 158.28 g/mol</li> <li>- Densitat del vapor : 4.5 g/ml</li> <li>- Densitat : 0.829 g/ml (25°C)</li> <li>- Pressió del vapor : 1 mmHg (70°C) 8.25 mmHg (100°C)</li> <li>- Puresa : 95.0%</li> <li>- Temperatura d'autoignició : 287.78 °C</li> <li>- Índex de refracció : n<sub>20/D</sub> 1.437</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Codi de risc : Xn, N</li> <li>- Declaracions de risc: 20/36/38-51/53</li> <li>- Declaracions de seguretat: 26-60</li> </ul>

**Taula 6. Propietats del decanol**

## **AGENT EXTRACTANT**

És el component responsable de que la fase orgànica reaccioni amb el solut que està a la fase aquosa, és a dir, que hi hagi una transferència de solut de la fase aquosa a la fase orgànica.

Es coneixen tres tipus diferents d'agents extractants: àcids, bàsics i neutres.

- **Extractants àcids:** Dins d'aquest grup podem fer la diferenciació entre acídics (amb el grup  $-\text{COOH}$ ,  $-\text{SO}_3\text{H}$ ) i els quelats que són capaços de formar complexos amb ions metàl·lics.
- **Extractants bàsics:** Són reactius orgànics que poden formar fàcilment una sal en contacte amb una fase aquosa àcida.
- **Extractants neutres:** Reactius que els seus grups donadors no contenen protons que es puguin dissociar. Degut a això, les espècies que s'extreuen de la fase aquosa són complexos neutres.

L'extractant que s'ha utilitzat en aquest projecte és el 2-Butil-2-Etil-1,3-Propanodiol (BEPD). La seva fórmula molecular és  $\text{C}_9\text{H}_{20}\text{O}_2$ .



A continuació es mostra una taula amb les propietats del BEPD:

Estructura química  $\rightarrow$   $\text{HOCH}_2\text{C}(\text{C}_2\text{H}_5)(\text{C}_4\text{H}_9)\text{CH}_2\text{OH}$

ESPECIFICACIONS	PROPIETATS FÍSQUES
- Pes molecular $\rightarrow$ 160.3 g/mol	- Punt d'ebullició $\rightarrow$ 103-106 °C
- Estat $\rightarrow$ Sòlid	- Pes específic (50/20°C) $\rightarrow$ 0.924
- Contingut d'aigua $\rightarrow$ 0.5% màxim	- Viscositat (100°C) $\rightarrow$ 8.5 mPa·S
- Punt de fusió $\rightarrow$ 40°C	Punt d'ignició $\rightarrow$ 310 °C
- Puresa $\rightarrow$ 99.0%	- Solubilitat en aigua a 18°C $\rightarrow$ 1.1

Taula 7. Propietats del BEPD

A continuació es mostra la reacció de l'extractant :

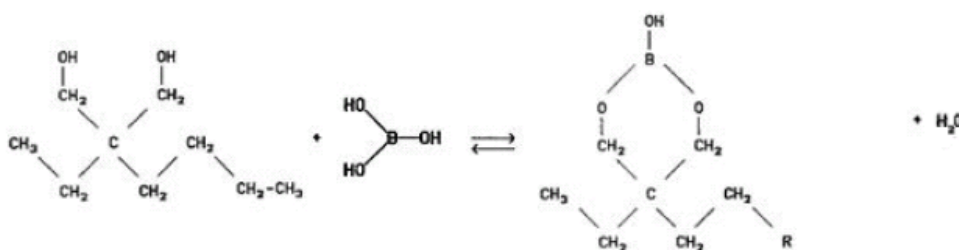


Figura 7. Reacció del BEPD

L'eficiència d'extracció, E, és la fracció de molècules de solut que es recuperen a la fase d'stripping.

$$E = \frac{V_s \cdot C_s}{V_c \cdot C_c}$$

On  $V_s$  i  $C_s$  són el volum i la concentració a la fase stripping i el  $V_c$  i  $C_c$  són el volum i la concentració a la fase de carga o d'alimentació.

### 3.3.- Aplicacions a l'extracció líquid-líquid

L'extracció líquid-líquid té varies aplicacions que s'esmenten a continuació:

- Com a tècnica per a concentrar fases.
- L'aplicació més considerable és la de separació de productes que provenen del petroli, ja que aquesta s'utilitza per a separar components d'una dissolució.

- Dins els processos metal·lúrgics s'utilitza en la separació de combustible d'urani i per a recuperar combustibles que hagin sigut gastats en la indústria nuclear.

### **3.4.- Avantatges i inconvenients**

Uns dels avantatges que trobem en el procés d'extracció líquid-líquid és que és una tècnica molt pràctica, senzilla, que dona resultats molt ràpidament i que té un ventall ben ample d'aplicacions amb un rendiment i eficàcia molt elevada. També es pot dir que es poden utilitzar un nombre de dissolvents i d'extractants, facilitant així poder trobar un d'adequat per al compost que es vol extreure.

Entre els inconvenients més significatius es troba que és un procés que es duu a terme en tres fases (extracció, stripping i rentat). També dir que es produeixen pèrdues de components, que s'utilitza gran quantitat de dissolvents que molts cops són tòxics i contaminants. L'últim inconvenient que es troba és que durant el procés es poden formar emulsions que molts cops poden ser difícils d'eliminar.

## 4.- Procés de membrana

### 4.1.- Introducció a les membranes

Aquesta és una tecnologia nova i dinàmica. Es pot definir una membrana com una regió material que actua de barrera entre dos fluids, que permet que passin únicament, certs ions o molècules a través d'ella per difusió.

Hi ha certes variables o condicions que afavoreixen o desfavoreixen el pas d'aquests ions o molècules, com són la permeabilitat de la membrana, la solubilitat, la química d'aquesta, la temperatura a la que es troben les molècules a qualsevol banda de la membrana, la concentració d'aquestes molècules o ions i la pressió.

Existeixen un gran número de membranes de diferents tipus, formes, etc... Totes aquestes diferències entre les membranes es troben degut a la seva naturalesa, estructura, morfologia, el mecanisme que utilitzen per a fer la transferència, etc...Cada una d'aquestes diferències fan que cada tipus de membrana tingui un funcionament diferent i tingui una utilitat diferent.

A continuació es mostra un esquema amb les diferents membranes que es poden trobar:

#### CLASSIFICACIÓ DE LES MEMBRANES

- SEGONS LA NATURALESA

1. NATURAL:

- Biològiques à Bicapa lípida
- No biològiques à Argiles

2. SINTÈTICA:

- Inorgànica:
  - Metàl·lica
  - Vitrea
  - Ceràmica

3. POLIMÈRICA:

- Polímer de funcionalitat
- Polímer de no funcionalitat

- 
- 4. COMPOSTA:
    - Capa superposada
    - Inclusió
    - Barreja de polímers
  - SEGONS L'ESTRUCTURA
    - 1. MACROSCÒPICA:
      - Tubular
      - Laminar
      - Fibra buida
    - 2. MACROSCÒPICA:
      - Porositat
        - Porosa: Macroporo / Mesoporo / Microporo
        - Densa
      - Composició:
        - Simètrica
        - Asimètrica
  - SEGONS EL TRANSPORT
    - 1. POROSA:
      - Difusió
      - Flux de fase
    - 2. DENSA → Difusió- dissolució
    - 3. INTERCANVI IÒNIC:
      - Intercanvi aniònic
      - Intercanvi catiònic
      - Difusió

**Figura 8. Classificació de les membranes**

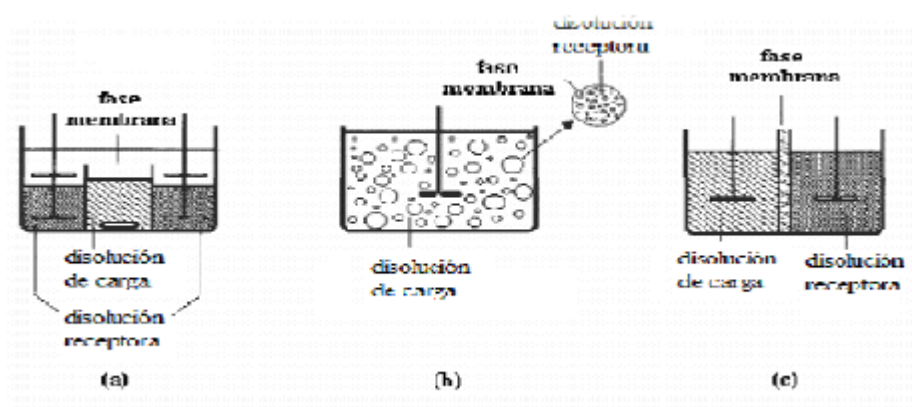
## 4.2.- Membranes líquides

La segona part d'aquest projecte s'ha basat també en l'eliminació de bor però utilitzant un altre mètode. Aquest ha sigut el procés de membranes, i com ja s'ha vist a l'apartat anterior, existeixen un gran nombre de membranes. En aquest cas només s'han utilitzat membranes líquides, així que únicament es procedeix a parlar d'aquest únic tipus de membranes.

Les membranes líquides formen part d'una classe de membranes molt especial, ja que a diferència de les demés, el material que s'utilitza en aquest cas com a barrera pels dos fluids que entren en contacte, és un altre fluid.

Aquest procés es pot comparar perfectament amb el procés d'extracció líquid-líquid, ja que tenen la mateixa finalitat, però en aquesta segona part amb una lleugera avantatge, i és que en el procés de membranes líquides es sintetitza el treball. Aquesta síntesi és deguda a que l'extracció de bor, en aquest cas, es fa en un mateix i únic pas, i no en tres passos com es fa a l'extracció líquid-líquid. En aquest cas el processos d'extracció i d'stripping es fan simultàniament i no es necessari que s'arribi a l'equilibri.

Com ja s'ha vist a la figura anterior, existeixen tres tipus diferents de membranes líquides i que a continuació es mostren, de manera gràfica, i s'expliquen.



**Figura 9. Membranes líquides. a) Membrana líquida de volum b) Membrana líquida emulsionada c) Membrana líquida suportada plana**

A les següents línies s'explicaran els tres tipus diferents de membranes líquides, donat molta més importància a les membranes líquides suportades ja que aquestes han sigut les que s'han utilitzat a la segona part del projecte.

#### - **MEMBRANES LÍQUIDES DE VOLUM (BML)**

Aquest tipus de membranes es caracteritzen per la utilització d'un volum de fase orgànica molt gran. Generalment s'utilitzen quan s'ha de treballar amb dissolvents orgànics molt volàtils, això explica que aquest tipus de membranes tinguin estructures que redueixin al màxim la pèrdua de dissolvents degut a la seva elevada volatilitat.

#### - **MEMBRANES LÍQUIDES EMULSIONADES (EML)**

Aquest tipus de sistema es prepara ficant en contacte una solució orgànica que està formada de tensoactius, amb una solució aquosa. Degut a la barreja d'aquestes dues solucions es forma una emulsió, anomenada water-in-oil, la que es tornarà a barrejar amb una altra solució aquosa nova.

Aquest sistema no és de gran ús degut a que té el problema de la gran estabilitat de l'emulsió i això fa que sigui molt difícil tornar a recuperar el solut.

#### - **MEMBRANES LÍQUIDES SUPORTADES (SLM)**

Aquest tipus de membranes donen molt bons resultats alhora de fer estudis al laboratori i és per aquesta raó per la que s'ha escollit aquest tipus per a realitzar els nostres assaigs.

Encara que donin resultats excel·lents, aquest tipus de membranes tenen el handicap de que el seu transport és molt lent degut a que tenen una molt baixa relació membrana/volum de solució.

Encara que al laboratori s'hagin utilitzat aquest tipus de membranes planes líquides suportades, aquestes acostumen a utilitzar-se per aplicacions a escala industrial. Tot i això, encara és molt més adequat que a escala industrial es treballi amb membranes líquides suportades en mòdul de fibres buides (HF-SLM, hollow-fiber supported liquid membrane). Aquest últim grup de membranes són molt similars a les que hem utilitzat nosaltres alhora de realitzar el projecte.

### 4.3.- Membranes líquides suportades (SLM)

Com ja s'ha dit anteriorment, al ser aquest grup de membranes les que s'han utilitzat per fer els nostre estudi, se li dona més importància que a les demés i s'expliquen amb més deteniment a continuació.

El muntatge d'aquestes membranes és molt senzill. Estan formades per dues cel·les cilíndriques separades per una membrana. A cada cel·la hi ha un agitador incorporat que te la funció d'agitar les solucions que hi ha a cada una d'elles (a la primera cel·la es fica la solució d'alimentació que conté àcid bòric i a l'altra es fica la solució d'stripping). Les cel·les romanen tancades i a la base superior o tapa, tenen un petit forat que s'utilitza per afegir o extreure la mostra.

El transport de matèria que té lloc a les membranes depèn de diferents factor, des d'un punt de vista físic, com poden ser l'àrea de contacte de la membrana, la velocitat d'agitació i la seva geometria. Per altra banda, els factors químics els podem diferenciar segons si ens referim a les solucions aquoses o a la membrana.

Si ens referim a les solucions aquoses aquests són la seva concentració, la temperatura, el pH i la força iònica.

Si es mira la membrana es troba que hi ha dos factors decisius que afavoreixen o no l'efectivitat d'aquesta com a separadora.

#### **- EL DISSOLVENT**

Aquest és el factor més important i decisiu en les membranes, ja que el dissolvent és l'encarregat de dissoldre l'extractant i per altra banda també és l'encarregat de separar les dues solucions aquoses (la d'alimentació i la de recuperació o stripping), i per aquesta raó ha de ser totalment immiscible en les solucions aquoses.

Els dissolvents més utilitzats són els hidrocarburs de cadena llarga com el dodecà o querosè (mescla de diferents hidrocarburs però majoritàriament dodecà), undecà...

Juntament amb el dissolvent, també és important utilitzar un modificador de fase que sigui adequat. Aquest s'usarà per augmentar la solubilitat de l'extractant.

En el nostre cas com a dissolvent s'ha utilitzat el querosè i com a modificador de fase el decanol.

## - **EXTRACTANT**

S'ha d'utilitzar l'extractant que sigui més adequat en funció del compost que es desitgi extreure. En el nostre cas s'ha escollit el BEPD, un extractant que és neutre. A part d'això és el més adequat per aquest procés degut a la seva composició, ja que conté diols en posició 1,3, que tenen la mida justa per a poder reaccionar amb l'àcid bòric.

### **4.4.- El transport a les membranes líquides suportades**

Existeixen dos tipus diferents de transport en aquest tipus de membranes; el no facilitat i el facilitat. La única diferència entre aquests és que en el transport no facilitat hi ha una transferència d'espècies, a banda i banda, de la membrana sense cap ajuda d'un agent extractant, és a dir, que el transport es produeix gràcies a una força de difusió de la fase orgànica a la membrana.

En l'altre cas, en el transport facilitat s'observa una transferència d'espècies gràcies a que la membrana està impregnada per un agent extractant que formarà un complex neutre amb l'espècie que ha de separar la membrana, afavorint així a que s'origini el transport. Per fer que aquest transport sigui més ràpid i efectiu s'ha d'impregnar la membrana amb un agent extractant que sigui el més adequat i el més selectiu possible amb el solut.

A continuació es mostren la figura del dos tipus de transport que s'acaben d'explicar.

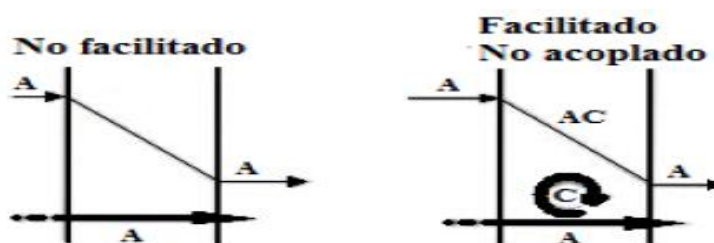


Figura 10. Dibuix del transport facilitat i del transport no facilitat

### **4.5. Avantatges i inconvenients de les membranes líquides suportades**

Els avantatges que podem trobar en aquest tipus de membranes són els següents:

- 1) Utilitzen molt poca quantitat de solució orgànica, per aquesta raó són molt bones per a treballar amb solucions amb preus elevats.
- 2) Són molt selectives.



- 3) Consumeixen molt poca energia.
- 4) L'extracció i recuperació del solut es fa en una mateixa etapa.
- 5) Les solucions aquoses gairebé no pateixen cap risc de contaminació.

Per altra banda només s'ha trobat un únic inconvenient el qual és que es pot trobar que es formin emulsions degut a que interacciona la membrana amb la solució aquosa i per aquesta raó hi ha una pèrdua de fase orgànica. Tot això pot originar que hi hagi contaminació a les solucions aquoses i també la conseqüent pèrdua d'extractant.



## 5.- Part experimental

En aquest apartat s'explica la part experimental del projecte, durant la qual s'ha estudiat l'eliminació de bor que es pot aconseguir utilitzant uns certs reactius i equipaments, a unes certes condicions.

En primer lloc es descriu el mètode utilitzat per l'anàlisi de bor que s'ha fet servir, tant en l'extracció líquid-líquid com en la determinació de bor en les membranes. Es descriuen també els reactius i equipament utilitzat en cada cas, s'especifica el procediment experimental seguit i es presenta els resultats obtinguts.

### 5.1.- Anàlisi del bor

Existeixen diversos mètodes d'anàlisi de bor, però nosaltres hem utilitzat el mètode de l'azomethine H, utilitzant l'espectrofotometria d'absorció molecular perquè és el més viable i el que millors resultats dona.

#### 5.1.1.- Reactius utilitzats i la seva preparació

Per a realitzar aquest mètode s'han utilitzat diversos reactius que s'esmenten a continuació.

PELS PATRONS: Àcid bòric i sulfat de sodi

PER ALS COLORANTS: Azomethine H i àcid ascòrbic

PER A LA SOLUCIÓ TAMPÓ: Àcid acètic i acetat d'amoni

A continuació es procedeix a explicar la preparació dels reactius que s'utilitzen en aquest mètode d'anàlisi.

#### - SOLUCIÓ TAMPÓ pH 4.5

En un vas de precipitats s'han de dissoldre 100 g d'acetat d'amoni amb 160 ml d'àcid acètic i 20 ml d'aigua bidestil·lada. Un cop fet això, si no s'aconsegueix tenir un pH= 4.5, s'ha d'ajustar aquest afegint àcid acètic.

#### - SOLUCIÓ D'AZOMETHINE H

En un vas de precipitats s'ha de dissoldre 1.00 g d'azomethine H i 2.00 g d'àcid ascòrbic en 50 ml d'aigua bidestil·lada. Un cop preparada aquesta dissolució es procedeix a enrasar dins un matràç de 100 ml amb aigua bidestil·lada.

És molt important saber que aquesta solució s'ha de preparar el mateix dia que ha de ser utilitzada.

### **- SOLUCIÓ MARE DE BOR (10 mg/l)**

Abans de fer aquesta solució de bor de 10 mg/l, s'ha de preparar una altra dissolució de bor prèvia que contingui 1000 mg/l de bor i 0.5 molar de sulfat de sodi. Els càlculs s'adjunten a l'Anex 5.1 i 5.4.

Un cop feta es procedeix a fer la solució mare de bor de 10 mg/l, pipetejant 1 ml de la solució de 1000 mg/l de bor en un matràç de 100 ml i s'ha d'enrasar amb aigua bidestil·lada.

### **- PREPARACIÓ DELS PATRONS EN MATRÀÇOS DE 25 ml**

La preparació d'aquests s'especifiquen a la següent taula:

PATRÓ	M, mg B	V, ml solució 10mg/l de bor	V, ml solució tampó	V, ml solució azomethine H
0	0	0	5	5
1	10	1	5	5
2	20	2	5	5
3	30	3	5	5

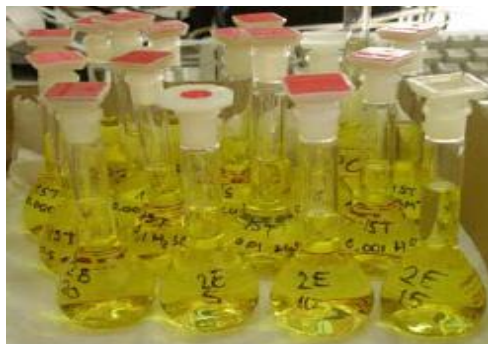
Taula 8. Preparació dels patrons

### **- PREPARACIÓ DE LES MOSTRES A ANALITZAR**

Totes les mostres s'han de preparar en matrassos de 25 ml. Per saber la quantitat de mostra de bor que s'ha d'afegir a cada matràç, s'ha de saber que el rang d'anàlisi de l'espectrofotòmetre molecular a la corba de calibratge és de 0 a 30 µg de bor. Sabent això es fan els pertinents càlculs que continguin aproximadament 20µg de bor. (Els càlculs es mostren a l'anex 5.5)

A cada matràç s'han d'afegir els següents reactius amb el següent ordre i quantitat:  
5ml solució tampó + "els ml calculats de bor per a cada mostra" + 5ml azomethine H + enrasar amb aigua bidestil·lada fins a 25 ml.

Tant els patrons com les mostres s'han de preparar a la vegada i un cop fetes s'han de deixar reposar durant 2 hores per permetre el desenvolupament del color.



**Figura 11. Fotografia de les mostres i els patrons un cop preparats**

### **5.1.2.- Realització de les mesures**

Aquest és l'equip que s'ha utilitzat per a fer les lectures de les mostres de bor. És de la marca XS UV-1603.

Per poder fer una bon estudi mitjançant aquest mètode s'hauran de realitzar tres lectures simultànies de cada mostra amb una longitud d'ona de 415 nm.

A continuació s'adjunta una fotografia de l'espectrofotòmetre que s'ha utilitzat:



**Figura 12. Fotografia d'un espectrofotòmetre d'absorció molecular**

Una vegada es tenen tots els reactius preparats, les mostres i patrons fets i reposats durant dues hores i l'espectrofotòmetre d'absorció molecular encès i preparat es procedeix a fer la lectura. El mètode seguit per a realitzar-la s'explica a continuació:

- Netejar amb cura les cubetes de l'espectrofotòmetre abans d'utilitzar-les.
- Omplir les dues cubetes amb el patró 0 i fer l'autozero. Un cop fet això es deixa la cubeta de referència.
- A la cubeta exterior és on s'han de ficar primer tots els patrons, per poder dibuixar la recta de calibratge, i després totes les mostres per poder per la lectura.
- Cada lectura, tant dels patrons com de les mostres, s'han de fer tres vegades simultànies i després és realitza una mitjana amb els valors obtinguts.
- Sempre que s'hagi d'omplir una cubeta amb mostra, abans s'ha de rentar aquesta amb la mostra que es vol introduir. Amb això s'aconsegueix obtenir una lectura bona i eficient.

## 5.2.- Extracció de bor mitjançant l'extracció líquid-líquid

En aquest apartat es tractarà d'explicar de la forma més clara, senzilla i completa el procediment que s'ha seguit, els materials i equips utilitzats i es mostraran els resultats i conclusions a les que s'han arribat.

### 5.2.1.- Equipament utilitzat

En aquesta part del projecte s'han utilitzat tot tipus de materials. Per una banda s'han utilitzat materials que són molt comuns en un laboratori, i per altra, s'ha utilitzat un més específic com és el cas dels embuts d'extracció.

- EMBUTS D'EXTRACCIÓ: És el lloc on es fiquen en contacte la fase aquosa i la fase orgànica. Aquest és l'utensili que servirà per a separar, de manera física, les dues fases.



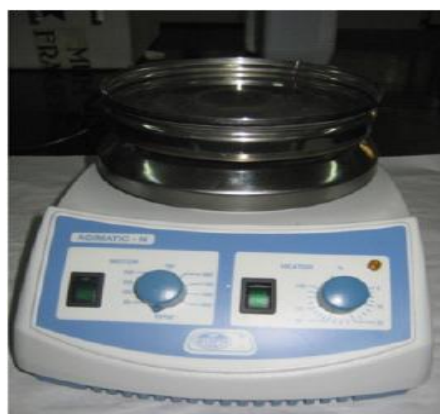
Figura 13. Fotografia d'un embut d'extracció

- **BALANÇA:** Aquesta s'utilitza per a pesar els reactius i poder preparar les dissolucions. És de la marca COBOS i té una precisió de quatre xifres, amb un error de 0.001g i una capacitat màxima de 300g.



**Figura 14. Fotografia de la balança COBOS**

- **AGITADOR-CALEFACTOR MAGNÈTIC:** S'utilitza per barrejar, escalfar i dissoldre els reactius quan es procedeix a preparar les dissolucions. Aquest és de la marca AGIMATIC.



**Figura 15. Fotografia de l'agitador-calefactor magnètic**

- **pH-METRE:** Aquest equipament s'utilitza, com el seu nom indica, per a mesurar el pH de les mostres, abans i després d'entrar en contacte. Això s'aconsegueix gràcies a que té un elèctrode de vidre que a part, a la vegada pot mesurar la temperatura a la que està la mostra. Aquest és de la marca CRISON.



Figura 16. Fotografia d'un pH-metre

- AGITADOR MECÀNIC AMB VAIVEN: S'utilitza per agitar els embuts d'extracció. És en aquesta etapa del procediment on s'origina la transferència de bor de la fase aquosa a la fase orgànica. Aquest és de la marca SBS i té una velocitat d'agitació de 140 rpm.



Figura 17. Fotografia agitador mecànic amb vaiven

### 5.2.2.- Reactius utilitzats

#### - FASE AQUOSA

Per a preparar la fase aquosa s'han utilitzat com a reactius l'àcid bòric ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ) i el sulfat de sodi ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ). En aquest cas la solució mare conté 1000mg/l de bor i 0.5m de sulfat de sodi. Els càlculs es mostren a l'Anex 5.1.



## **FASE ORGÀNICA**

Per a preparar la fase orgànica s'han utilitzat tres reactius:

- 1) Un extractant, que permet extreure el bor com és el cas del 2-butil-2-etil-1,3-propanodiol (BEPD) amb un 99.3% de puresa i en estat sòlid.
- 2) El decanol com a modificador de fase que, anteriorment ja s'ha explicat serveix per a augmentar el percentatge d'extracció i per ajudar a la separació de les fases.
- 3) El querosè com a dissolvent orgànic.

## **SOLUCIÓ D'STRIPPING**

La solució d'stripping es prepara barrejant hidròxid de sodi (NaOH) i clorur de sodi (NaCl) amb les següents concentracions: 0.2M de hidròxid de sodi i 0.3M clorur de sodi. Els càlculs es mostren a l'Anex 5.2.

## **SOLUCIÓ DE RENTAT**

Per a preparar aquesta dissolució s'han d'utilitzar dos reactius. Un és el sulfat de sodi ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) i l'altre l'àcid sulfúric ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). Per a preparar-la es necessita 0.5M de sulfat de sodi i dues gotetes d'àcid sulfúric, ja que volem que la fase orgànica quedi exenta d'hidròxid de sodi (NaOH), si no fos així, la reutilització de l'extractant no seria possible. Els càlculs es mostren a l'Anex 5.3.

### **5.2.3.- Procediment**

El mètode d'extracció de bor mitjançant extraccions líquid-líquid és un mètode molt senzill de realitzar però llarg, ja que des de que es comença fins que s'acaba es duen a terme tres etapes (extracció, stripping i rentat) que s'expliquen, amb cura, a continuació.

#### **- ETAPA 1: EXTRACCIÓ**

- 1.- En un embut d'extracció s'etiqueten les característiques inicial que tenen les fases que s'hi afegeixen.
- 2.- Després s'afegeix 10 ml de dissolució mare de 1000 mg/l de bor i 0.5M de sulfat de sodi, dins l'embut.

3.- Per últim s'afegeix 10 ml de fase orgànica dins l'embut (aquesta és la que porta l'extractant)

És molt important que es segueixi aquest ordre com a mesura de prevenció degut a que per un error humà, l'embut no tingui la clau ben tancada, i si és així, es preferible que es perdi fase aquosa que no fase orgànica, ja que la fase orgànica és més difícil de rentar i, a més, és més cara.

4.- S'han de visualitzar dues fases ben separades. A la part superior de l'embut, la fase orgànica que és menys densa i de color blanquinós. A la part inferior de l'embut la fase aquosa que és totalment líquida i transparent.

5.- Agitar els embuts manualment i deixar-los reposar, durant pocs minuts i anotar els canvis i variacions que s'observen a les fases.

6.- Agitar amb l'agitador mecànic amb vaiven, durant 20 minuts a 140rpm. Deixar reposar i anotar els canvis que s'observen.

7.- Es separa, per decantació, les dues fases. Obrint la clau inferior de l'embut es separa la fase aquosa de la fase orgànica. Quedant en un pot la fase aquosa, on aquest s'ha d'etiquetar amb les mateixes característiques de l'embut que li pertoca.

8.- Rentar el tub inferior o de sortida de cada embut cada cop que s'extregui fase aquosa.

## **-ETAPA 2: STRIPPING**

1.- Afegir 10 ml de solució d'stripping (0.2M de NaOH i 0.3M de NaCl), a l'embut d'extracció on hi ha la fase orgànica amb el bor extret.

2.- Repetir els mateixos passos del 4 al 9 de l'etapa d'extracció.

## **-ETAPA 3: RENTAT**

1.- Afegir a l'embut d'extracció 10 ml de solució de rentat, que conté 0.5M de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ .

2.- Tornar a repetir els mateixos passos del 4 al 9 de l'etapa d'extracció.

### **5.2.4.- Assaigs i resultats**

En aquest projecte s'ha estudiat mitjançant diversos assaigs, quines són les condicions idònies per a obtenir una màxima extracció de bor. S'ha partit ja d'un estudi previ que es va fer en projectes anteriors, a on es va provar d'entre una varietat d'extractants, tots ells de la família dels diols, quin era el que presentava una capacitat d'extracció més constant després de successives extraccions i arribant a la

conclusió que el millor extractant era el 2-butil-2-etil-1,3-propanodiol (BEPD), per aquest raó en tots els nostres assaigs utilitzem, únicament, el BEPD com a extractant. Per altre banda, el mateix ha ocorregut amb el modificador de fase i el dissolvent orgànic que s'ha utilitzat. Després de realitzar diversos estudis i assaigs es coneix que el millor dissolvent orgànic és el querosè i el millor modificador de fase es el decanol. Per aquesta raó, als assaigs del nostre projecte, únicament s'han utilitzat aquests reactius.

De tota manera, el primer assaig que s'ha fet ha estat comparar el decanol amb un altre possible modificador de fase, en concret el tributilfosfat (TBP), que semblava un possible candidat.

Per fer això, les fases orgàniques proposades han estat; per una banda, una barreja que conté una concentració de 0.265 M de BEPD i un 10% de TBP (com a modificador de fase), i per una altra, un conjunt de mostres que contenen la mateixa concentració anterior de BEPD però amb la diferència de que el modificador de fase que s'utilitza és el decanol amb diferents percentatges, concretament de 10%, 20%, 30%, 40% i 50%.

El procediment seguit ha estat fer: una extracció, l' stripping corresponent i rentat de la fase orgànica.

Amb la fase orgànica neta es comença de nou aquesta sèrie (extracció, stripping i rentat, addicionant fase aquosa nova).

El nostre interès és que després de repetir aquest procediment, el percentatge d'extracció sigui el mateix, o es mantingui més o menys constant, d'una sèrie a una altra. Generalment, si es fa una única etapa, el percentatge d'extracció pot ser molt alt, però al reutilitzar la fase orgànica, en la segona, tercera, quarta... etapa, el percentatge d'extracció pot disminuir dràsticament.

Els valors utilitzats i els resultats obtinguts, de totes les següents proves es mostren a l'Anex 2.

Després de fer les proves per aquest estudi s'ha obtingut el següent resultat:

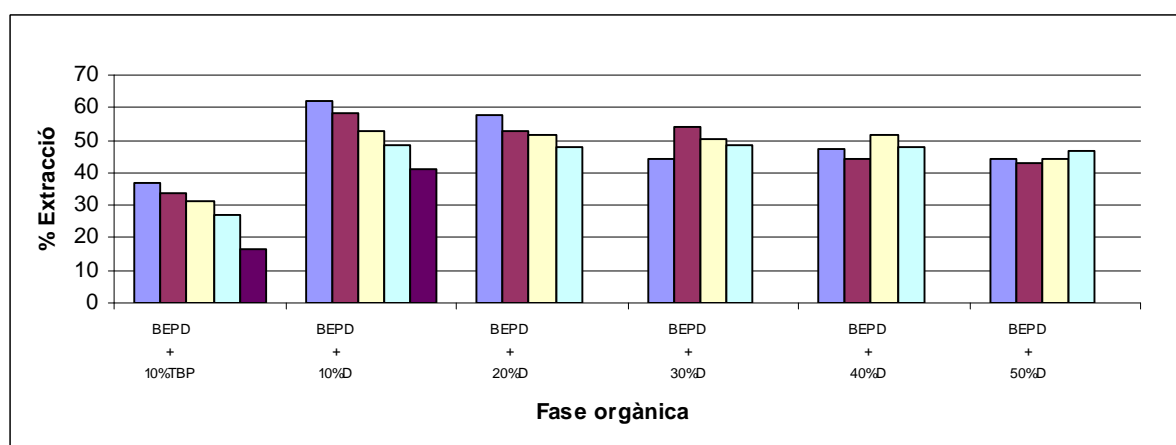


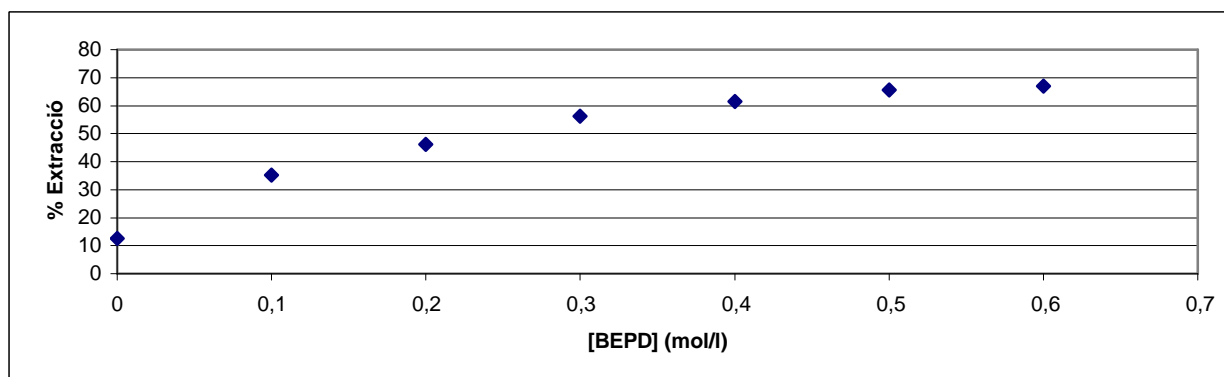
Figura 18. Gràfic d'estudi dels extractants

Al gràfic s'aprecia que d'entre el dos modificadors de fase que s'han utilitzat, el que millor funciona és el decanol, observant-se que és el que ofereix un percentatge d'extracció molt més alt que el TBP i, a la vegada, és més constant en les successives extraccions.

A més s'ha pogut constatar, que la separació de les fases als assaigs amb TBP no es gens bona i sempre hi ha una mescla entre fases i mai s'aconsegueix la separació perfecta entre aquestes. Per aquesta raó, s'ha decidit treballar al llarg del projecte amb el decanol com a modificador de fase, a més, perquè amb aquest, el temps que han tardat les fases a separar-se és bastant més reduït

Un cop ja s'ha decidit quin d'aquests dos és el més idoni, ara es fa un altre estudi per acabar de concretar les millors condicions per a obtenir una bona extracció. El que s'ha fet seguidament, és variar la concentració d'extractant per veure com la concentració d'aquest repercuteix en el percentatge d'extracció.

El percentatge de decanol es mantindrà fix, concretament un 35% i la concentració de BEPD variarà entre 0 i 0.6 M, treballant amb concentracions de BEPD de 0M, 0.1M, 0.2M, 0.3M, 0.4M, 0.5M i 0.6M. A continuació es mostren els resultats obtinguts:



**Figura 19. Gràfic del percentatge d'extracció variant la concentració d'extractant**

En la figura es pot apreciar que el percentatge d'extracció de bor augmenta a la vegada que augmenta la concentració d'extractant.

Aquest estudi també ha servit per adonar-nos d'una altra cosa. I es que si s'observa amb deteniment el gràfic es pot veure que al punt on la concentració d'extractant és nul·la, dóna un petit percentatge d'extracció, concretament del 12%. Aquest resultat permet deduir que el modificador de fase (decanol), també té influència amb el percentatge d'extracció i ell, per si sol, també extreu.

Aquesta és una de les raons per les que s'ha decidit fer els dos següents assaigs per tal de determinar el comportament que té el decanol sense el BEPD davant l'extracció, i també de veure el comportament que té el decanol amb el BEPD davant l'extracció.

Primerament ens fixarem amb el comportament que té el decanol amb el BEPD. Per a fer això, en el següent experiment el que s'ha fet és escollir dues concentracions de BEPD representatives, com són la de 0.3M i 0.6M, i se'ls hi ha fet un estudi variant el percentatge de decanol. Llavors el que es presenta a continuació són dos gràfics, que per separat, mostren quin comportament té el BEPD amb una concentració de 0.3M i amb percentatges de decanol de 20%, 40%, 60%, 80% i de 100%. A l'altre es veurà el mateix però amb una concentració de BEPD de 0.6M.

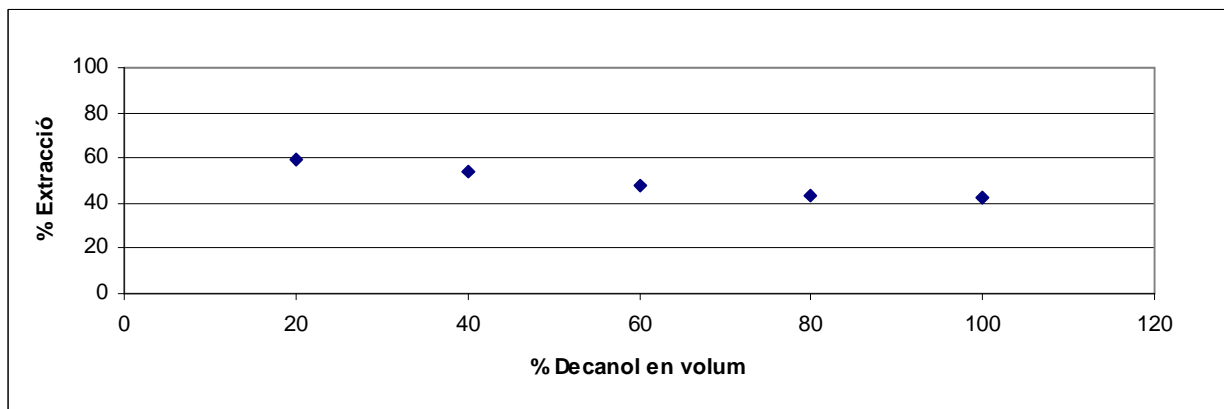


Figura 20. Gràfic del percentatge d'extracció de 0.3M amb diferents percentatges de decanol

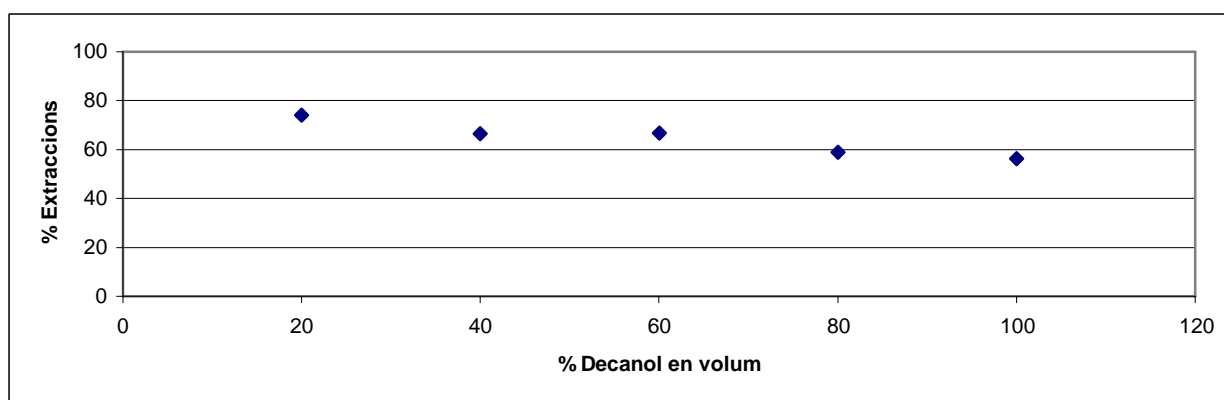


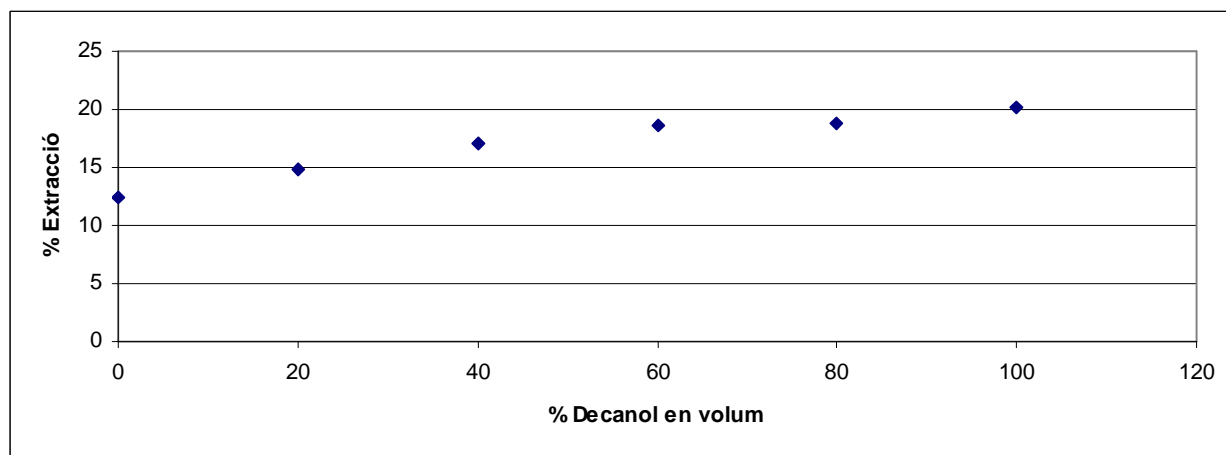
Figura 21. Gràfic del percentatge d'extracció de 0.6M amb diferents percentatges de decanol

Gràcies a aquests gràfics es poden veure varies coses. La primera d'elles és que s'obté un major percentatge d'extracció quan es treballa a concentracions de BEPD més grans, és a dir, amb una concentració de BEPD 0.6M. En aquest cas, el rang d'extracció de bor es troba entre un 77% i un 59% d'extracció. En canvi, quan es treballa a concentració de 0.3M de BEPD s'aconsegueix només un rang d'entre un 60% i un 49% d'extracció.

El comportament més interessant que es pot determinar de les figures 20 i 21, és que quant més decanol hi ha a la fase orgànica, el percentatge d'extracció disminueix malgrat la concentració de

l'extractant augmenti. Això és possiblement degut a que el BEPD es solvata amb el decanol disminuït la seva capacitat d'extracció.

Per seguir veient el comportament del decanol, es realitza el següent assaig, en el qual s'observa com varia el percentatge d'extracció quan la fase orgànica no conté BEPD, si no diferents concentracions de decanol de 0%, 20%, 40%, 60%, 80%, 100%. A continuació es mostra el gràfic on es veu plasmada tota aquesta informació.



**Figura 22. Gràfic del percentatge d'extracció a 0M BEPD i diferents percentatges de decanol**

En aquest gràfic s'observen dues coses. La primera és que es corrobora que el decanol, per si sol, també actua com a extractant, amb un rang d'extracció que oscil·la entre una 12% i un 20%. També es pot observar una altra cosa important, i és que si s'observa bé el gràfic es pot comprovar que al primer punt de tots, on les característiques de fase orgànica que s'utilitza són de 0M de BEPD i 0% de decanol, s'observa que també hi ha un petit percentatge d'extracció. Com en el cas anterior, aquest percentatge s'atribueix a l'extracció del dissolvent, com és en el nostre cas el querosè, també influeix en l'extracció, i ell per si sol, també té la capacitat d'extreure bor.

Durant totes les anteriors proves s'ha utilitzat una dissolució mare de bor que conté una concentració de 1000 mg/l de bor i una concentració de sulfat de sodi de 0.5M, i és a partir d'aquesta d'on s'han fet tot el seguit de proves que anteriorment s'han explicat. Un altre tipus d'informació important es mostra en les isoterms d'extracció. Aquestes corbes representen els punts d'equilibri, és a dir, mostrarà com es distribueix el bor tant a la fase aquosa, com a la fase orgànica, un cop el sistema arriba a l'equilibri. Per això, en aquest assaig es treballarà amb mostres que continguin, per una banda, una concentració de BEPD de 0.3M i per l'altra una concentració de 0.6M de BEPD a diferents concentracions de bor de 500, 1000, 2000, 3000, 4000, 6000 i 7000 mg/l i un percentatge de decanol fix del 35%. A continuació es mostra un gràfic amb els resultats obtinguts:

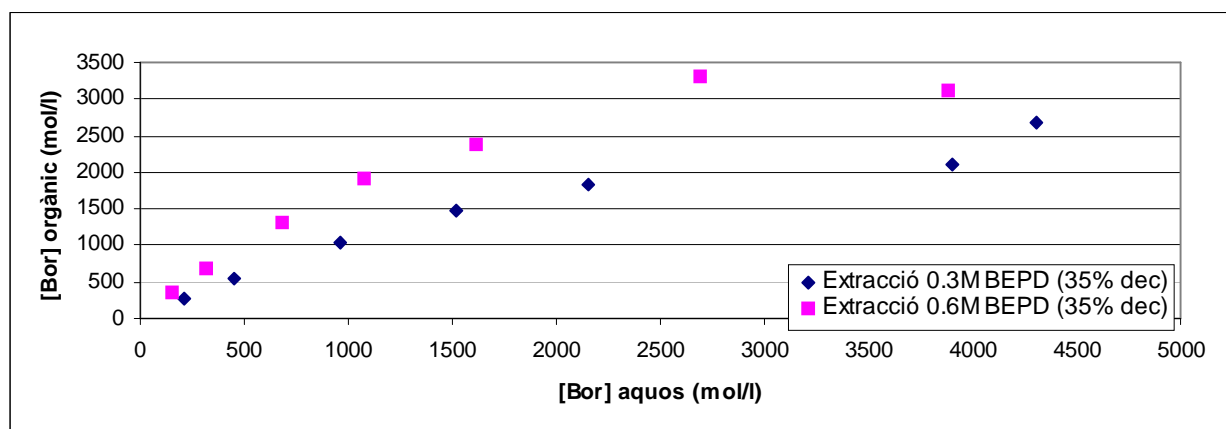


Figura 23. Gràfic d'isotermes

Es pot observar que la corba té tendència a estabilitzar-se, per aquesta raó si s'augmentés la concentració de bor inicial, s'arribaria a un punt on la concentració de bor a la fase orgànica seria sempre la mateixa, i per aquesta raó s'arribaria a la conclusió de que no s'extrauria més. D'aquesta manera es podria determinar la capacitat màxima d'extracció del BEPD.

L'últim dels estudis que s'han realitzat en aquest projecte és veure si la força iònica, d'una dissolució, té influència també alhora d'afavorir o desfavorir l'extracció. La força iònica és la concentració de tots els ions que estan presents dins una dissolució. Per aquesta raó s'han fet tres assaigs iguals, però amb forces iòniques diferents per corroborar si aquesta afirmació és certa.

A continuació es mostra l'equació de la força iònica d'una dissolució:

$$I_c = \frac{1}{2} \sum_{B=1}^n C_B \cdot Z_B^2$$

On:

- $C_B$  és la concentració d'ions de les espècies que estan a la dissolució (mol/l).
- $Z_B$  és la càrrega de l'ió de cada espècie
- $\sum_{B=1}^n$  és el sumatori de cadascuna de les espècies iòniques presents al medi

En aquests assaigs s'ha partit sempre d'una dissolució de 1000 mg/l de bor amb 0.6M de BEPD i s'han estudiat tres forces iòniques diferents. L'experiment plantejat és el de la variació del percentatge d'extracció amb la concentració de decanol diferent per a les tres forces iòniques, i únicament se'ls hi ha variat el percentatge de decanol i la força iònica, és a dir, la concentració de sulfats i sodis que conté. Ara es mostra una gràfica que mostra els següents resultats.

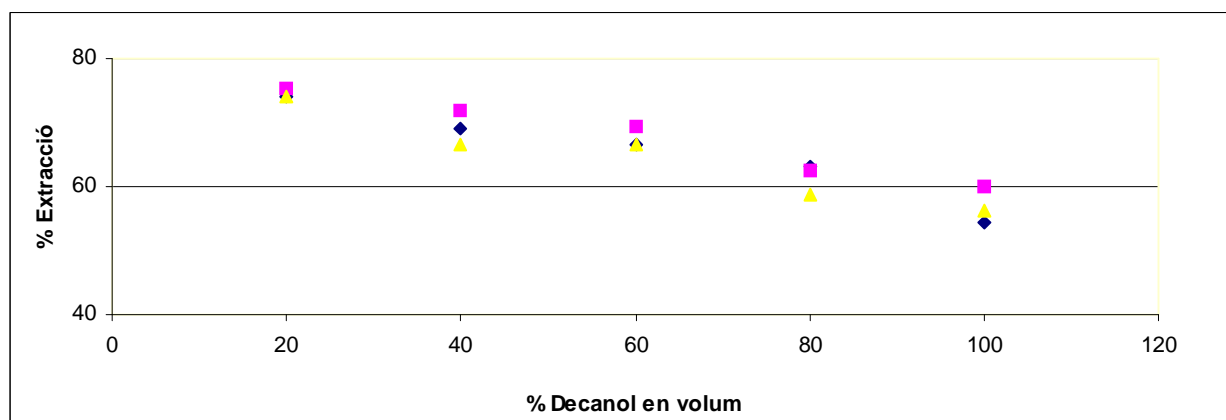


Figura 24. Gràfica de forces iòniques

En aquesta gràfica es pot veure reflexat el comportament que té la força iònica d'una dissolució. Es poden observar les tres forces iòniques esmentades abans, on la gràfica dels punts roses representa una força iònica de 0.5, la gràfica blava representa una força iònica de 0.25 i la groga, una força iònica de 0.75.

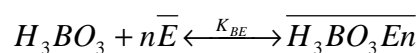
Mirant el gràfic es pot arribar a la conclusió de que l'influència de la salinitat del medi no és tant acusada com poden tenir altres sistemes, en el marge que s'ha estudiat.

### 5.3.- Modelització de les constants d'extracció

Un cop s'han dut a terme tots els assaigs, aquests a part de servir per a treure conclusions i observar diversos comportaments, també serveixen per plantejar un model matemàtic, el qual descriu el comportament del bor en aquest procés d'extracció. D'aquesta manera es pot trobar quins són els valors de les constants d'extracció a les diferents condicions de treball que s'han exposat en aquest projecte.

#### 5.3.1.- Determinació del coeficient estequiomètric de la reacció

El bor, a una dissolució es pot trobar en forma de diferents espècies, com són el cas de  $H_3BO_3$ ,  $H_2BO_3^-$ ,  $HBO_3^{2-}$ ,  $B_3O_3(OH)_4^-$ ,  $B_3O_3(OH)_5^-$ . Però en el nostre cas i degut a les condicions inicials a les que es troba el medi aquós de les nostres dissolucions, l'àcid bòric és l'espècie més predominant en l'extracció. Degut a això, la reacció d'extracció és la següent:





La constant d'extracció de la reacció correspon a:

$$K_{BE} = \frac{[H_3BO_3En]}{[H_3BO_3] \cdot [E]^n}$$

On:

- $[H_3BO_3En]$  és la concentració d'àcid bòric que es troba a la fase orgànica (mol/l)
- $[H_3BO_3]$  és la concentració d'àcid bòric que es troba a la fase aquosa (mol/l)
- $[E]^n$  és la concentració d'extractant inicials a la fase orgànica (mol/l) elevat al coeficient estequiomètric corresponent.

Es pot observar que hi ha espècies que tenen un barret a la part superior, això fa referència a que aquestes es troben a la fase orgànica i les que no tenen barret es troben a la fase aquosa.

El número de molècules d'extractant que es lliga amb l'àcid bòric és desconegut, i per tant, primer que s'ha d'estimar.

Es pot definir el coeficient de distribució del bor (D) que és la relació de les concentracions de bor que es troben a la fase aquosa i a la fase orgànica, i s'expressa de la següent manera:

$$D = \frac{[H_3BO_3]}{[H_3BO_3]}$$

Si es considera que  $[H_3BO_3] = [H_3BO_3En]$ , i es té present el coeficient de distribució del bor (D), s'obté una nova expressió per a la constant d'extracció  $K_E$ .

$$K_{BE} = \frac{D}{[E]^n}$$

Si aquesta expressió es linialitza i es reordena s'obté el següent:

$$\begin{aligned} \ln K_{BE} &= \ln D - n \cdot \ln [E] \\ \ln D &= \ln K_{BE} + n \cdot \ln [E] \end{aligned}$$

Si aquesta última equació es representa gràficament s'obté una única recta on el valor del coeficient estequiomètric (n) és el pendent i el  $\ln K_{BE}$ , que és l'ordenada a l'origen, permet trobar la constant d'extracció ( $K_{BE}$ ) de forma aproximada.

Aquest tipus de reaccions acostumen a tenir un coeficient estequiomètric de 1 ó 2. Així el procediment que s'ha seguit per a determinar n, és suposar un valor de n, i veure si al fer aquesta recta surt un pendent igual a 1. Si surt així, vol dir que la suposició és correcta, si no, es prova per un altre valor de n, i així successivament.

Tenim que:

$$[\overline{H_3BO_3}] = [H_3BO_3]_{inicial} - [H_3BO_3]$$

On:

$[\overline{H_3BO_3}]$  és la concentració d'àcid bòric a la fase orgànica després de l'extracció

$[H_3BO_3]_{inicial}$ , és la concentració d'àcid bòric a la fase aquosa abans de l'extracció

$[H_3BO_3]$  es la concentració d'àcid bòric a la fase aquosa després de l'extracció

Segons la reacció:

$$[\overline{H_3BO_3}] = n[\overline{E}]_{ligat}$$

On:

n = coeficient estequiomètric de la reacció

$[\overline{E}]_{ligat}$  = la concentració d'extractant que ha reaccionat amb l'àcid bòric després de l'extracció.

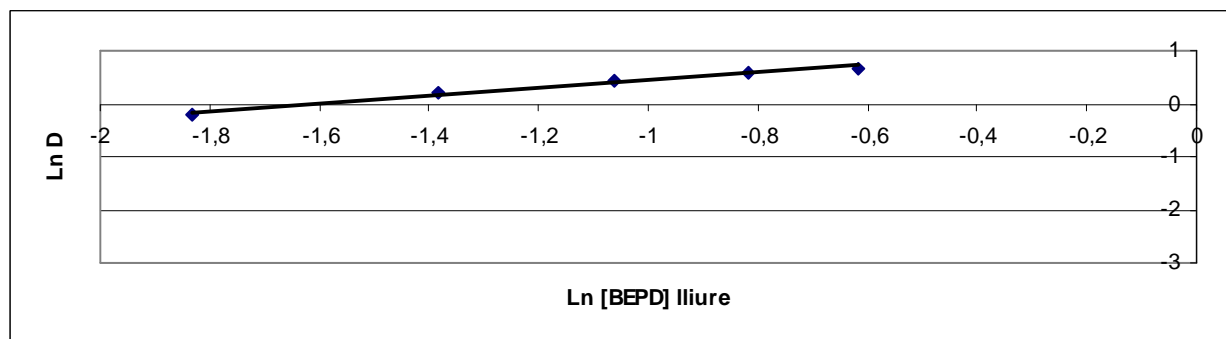
$$[\overline{E}]_{lliure} = [\overline{E}]_{inicial} - [\overline{E}]_{ligat} = [\overline{E}]_{inicial} - \frac{[\overline{H_3BO_3}]}{n}$$

$[\overline{E}]_{inicial}$  = Concentració d'extractant abans de l'extracció

$[\overline{E}]_{lliure}$  = Concentració d'extractant que no ha reaccionat amb l'àcid bòric a la fase orgànica.

Un cop s'han descrit les equacions i les relacions que s'han d'utilitzar, es procedeix a trobar, de forma gràfica, el coeficient estequiomètric i les constants d'extracció.

Tots els càlculs i valor que s'utilitzin a continuació es mostren a l'Anex 3.1. Seguidament es representa mitjançant un gràfic, els resultats obtinguts:



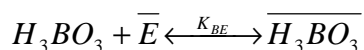
**Figura 25. Determinació del pendent de la recta per a la reacció de l'àcid bòric**

A través de la figura anterior s'ha obtingut la següent equació:

$$\text{Ln } D = 0.7335 \text{ Ln [BEPD]} + 1.1751$$

Essent el pendent de la recta 0.7335. Aquests és un valor aproximat a 1. Surt aquest valor degut a, com ja s'ha esmentat abans, es sap que l'extracció de bor està lligada amb el decanol i amb el querosè. En aquest cas, i per simplificar el procés de càlcul, els dos últims reactius s'han despreciat i per aquesta raó s'explica perquè no surt un coeficient ( $n=1$ ), si no, un molt aproximat.

Amb aquests càlculs es pot verificar que l'ordre de la reacció de l'àcid bòric és 1, quedant la següent reacció:



### 5.3.1.- Determinació de les constants d'extracció

A partir d'ara es procedeix a determinar els valors de les constants d'extracció, de totes les reaccions involucrades, i la constant de reacció entre l'extractant i el decanol. Per a fer això, es necessita recalcul, de forma teòrica, tots els valors obtinguts als nostres experiments, i d'aquesta manera, comparar-los amb els obtinguts experimentalment.

Els valors de les constants d'extracció han sigut els següents:

$$K_{BE} = 9.08836$$

$$K_{BD} = 0.4787$$

$$K_{BK} = 0.03126$$

$$K_{ED} = 0.75007$$

El model que es proposa és el següent:

1. Reacció de l'àcid bòric amb el BEPD i la seva constatació d'extracció:



A més, s'ha comprovat amb un dels experiments anteriors, que l'extracció de l'àcid bòric està lligada amb el decanol, ja que ell per si sol també extreu, i per tant, es compleix la següent reacció:

2. Reacció de l'àcid bòric amb el decanol:



També a un altre dels experiments s'ha observat que no només el BEPD i el decanol tenen influència en l'extracció de l'àcid bòric. Aquí és on entra el querosè en joc, i es coneix que ell també aporta un paper en aquest procés, degut a que ell per si sol també té un petit percentatge d'extracció, a partir de la següent reacció:

3. Reacció de l'àcid bòric amb el querosè:



Per últim també s'ha comprovat que el decanol i el BEPD reaccionen entre ells a la fase orgànica. D'aquesta manera el decanol consumeix extractant, i per això fa que juguin un paper important en l'extracció, quan entren en contacte s'obté la següent reacció:

4. Reacció del BEPD amb el decanol:



A part de les equacions d'equilibri s'han de contemplar els balanços de matèria per a cada una de les espècies implicades en el sistema.

- Balanç de matèria d'àcid bòric:

$$[H_3BO_3]_{inicial} = [H_3BO_3] + [\overline{H_3BO_3}]$$

$$[H_3BO_3]_{inicial} = [H_3BO_3] + [\overline{H_3BO_3E}] + [\overline{H_3BO_3D}] + [\overline{H_3BO_3K}] \quad (\text{eq. 5})$$

- Balanç de matèria d'extractant:

$$[E]_{inicial} = [\overline{H_3BO_3E}] + [\overline{ED}] + [\overline{E}] \quad (\text{eq. 6})$$

- Balanç de matèria de decanol:

$$[D]_{inicial} = [\overline{H_3BO_3D}] + [\overline{ED}] + [\overline{D}] \quad (\text{eq. 7})$$

- Balanç de matèria d'extractant:

$$[K]_{inicial} = [\overline{H_3BO_3K}] + [\overline{K}] \quad (\text{eq. 8})$$

Arribat a aquest punt, tenim un sistema format per 8 equacions i 12 incògnites. Per poder resoldre'l cal donar valors a quatre incògnites. Per ajustar-lo es donen valors d'entrada a les constants i es resol mitjançant un sistema iteratiu. Aquest sistema és molt complex perquè les variables estan entrelligades i per poder-lo solucionar amb excel, es fan una sèrie de simplificacions.

En general les concentracions de decanol i querosè, lligades amb l'extractant ( $[\overline{H_3BO_3D}]$ ;  $[\overline{H_3BO_3K}]$ ) són molt petites, respecte a les que es tenen inicialment, per això es poden despreciar. Per tant podem dir que  $[\overline{D}] = [D]_{inicial}$  i que  $[\overline{K}] = [K]_{inicial}$ .

El procediment seguit és el següent, però abans es mostra un esquema per a facilitar la comprensió d'aquest:

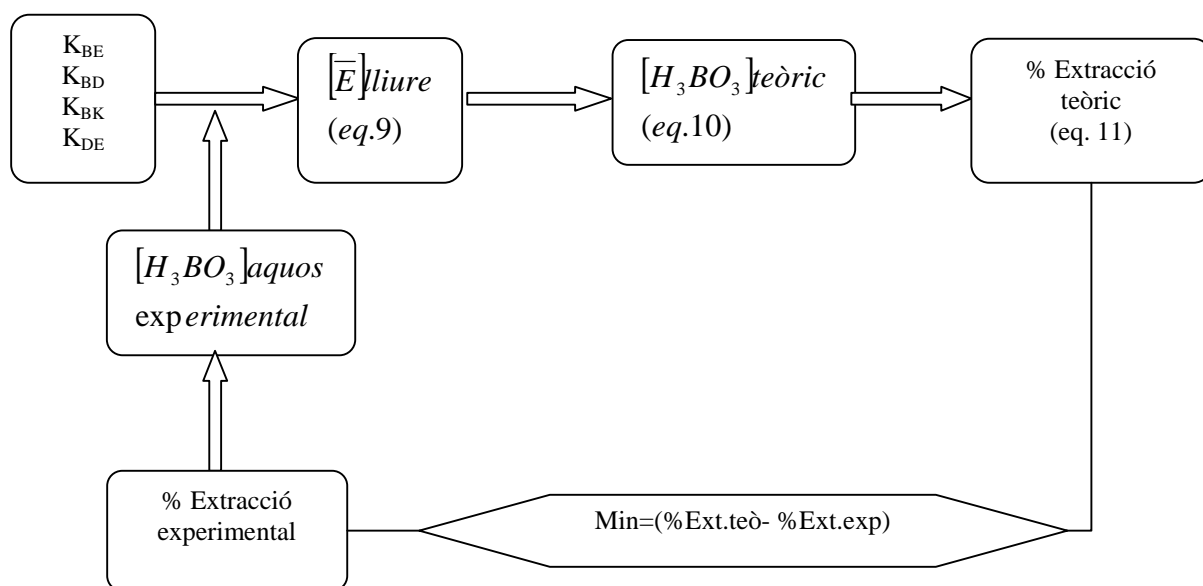


Figura 26. Esquema del procediment per a la determinació de les constants d'extracció

Aquest procediment es duu a terme amb la macro (SOLVER) del programa de càlcul EXCEL. Com només es tenen valors coneguts dels experiments, s'han de fer suposicions per a poder resoldre'l. Aquestes suposicions es fan donant valors coherents, a les constants d'extracció, per exemple, per la  $K_{BE}$  se li assigna el valor obtingut a partir de l'equació trobada a l'apartat 5.3.1, i per les altres, valors més petits. Llavors al programa se l'introdueixen aquests valors de les constants, també els valors de les concentracions d'àcid bòric que s'han obtingut als experiments i per últim el de les concentracions inicials de la fase orgànica.

Aquests valors serveixen per a trobar unes concentracions d'extractant lliure teòrica, per mitjà de  $[E]_{lliure} = \frac{[E]_{inicial}}{(1 + K_{BE} \cdot [H_3BO_3]_{exp} + K_{ED} \cdot [D])}$  (eq.9). Seguidament, es substitueixen aquests valors a la següent reacció  $[H_3BO_3]_{teòrica} = \frac{[H_3BO_3]_{inicial}}{(1 + K_{BE} \cdot [E]_{lliure} + K_{BD} \cdot [D] + K_{BK} \cdot [K])}$  (eq.10), on s'obindran unes concentracions teòriques d'àcid bòric. Amb aquests nous paràmetres determinats es procedeix a calcular una nova variable a la que s'anomenarà com el percentatge d'extracció, que es determina de la següent manera:

$$\% Ext. teòrica = \frac{[H_3BO_3]_{inicial}}{[H_3BO_3]_{teòrica}} \cdot \frac{100}{[H_3BO_3]_{inicial}} \quad (eq. 11)$$

Per últim, i quan es tenen tots els paràmetres anteriors calculats, es comparen els valors dels percentatges d'extracció experimentals amb els valors dels percentatges d'extracció teòrics, on es presenten dues possibilitats.

- Que els valors dels dos paràmetres coincideixin

Això vol dir que els valors que s'han suposat per a les constants d'extracció són correctes. Llavors aquestes són les constants d'extracció de l'àcid bòric.

Aquesta possibilitat és molt remota i el més lògic és que ocorri la següent possibilitat:

- Que els valors dels percentatges d'error no coincideixin

Això significa que les constants que s'han suposat no són correctes i es procedeix a trobar l'error total amb la següent equació:

$$Error = |\% Ext.teòric - \% Ext.experimental|^2$$

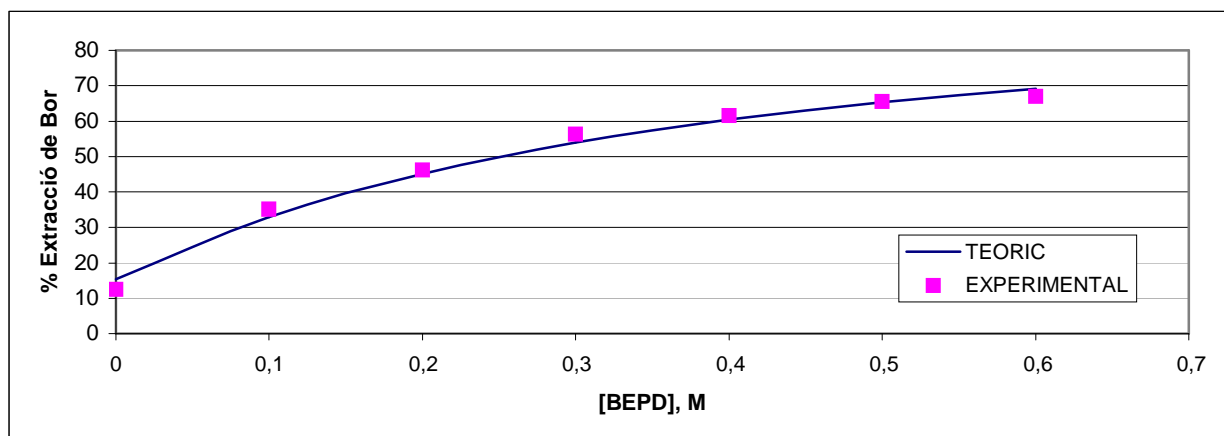
Un cop estan calculats els errors de tots els experiments es procedeix a calcular una altra funció error amb la que es minimitzarà, tant com es puguin, els errors anteriors amb l'ajuda del programa SOLVER. Aquesta funció és la següent:

$$Minim = \sum_i Errors$$

Fet tot això s'obtidran els valors per a les constants d'extracció de l'àcid bòric, que s'han mostrat anteriorment i que més bé s'ajusten a tots els experiments.

Per a resoldre el procediment anterior s'han utilitzat valors experimentals dels assaigs que ara es mostren. Les dades utilitzades s'especifiquen a l'Anex 3.2.

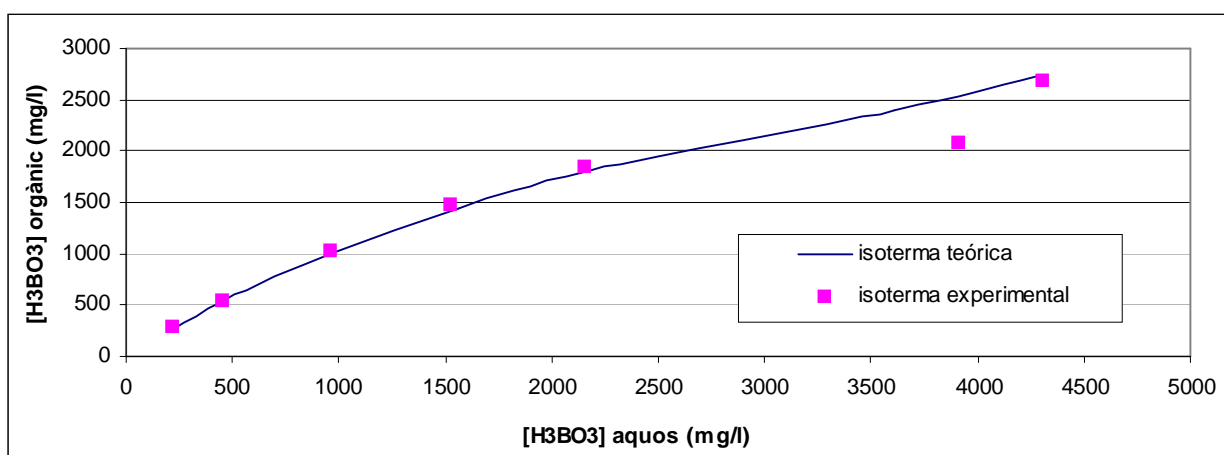
A continuació es mostra un gràfic on es representen els resultats experimentals que ha donat l'assaig on s'ha variat la concentració d'extractant:



**Figura 27. Variació del % d'extracció teòrica i experimental a diferents concentracions d'extractant**

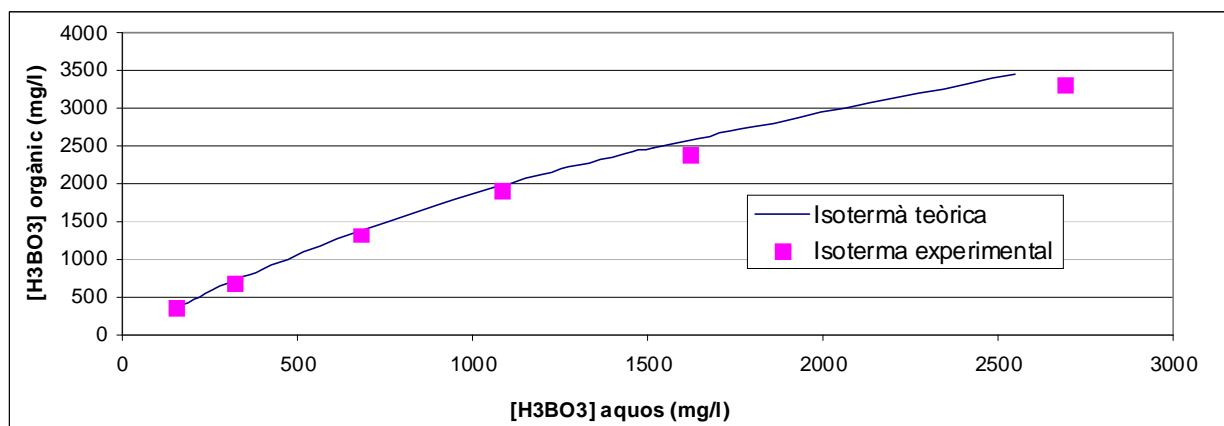
Mirant la figura es pot dir que els resultats experimentals d'aquest assaig es cenen perfectament al model matemàtic trobat.

Seguidament es mostren els resultats obtinguts als assaig de les isoterms de 0.3M i 0.6M d'extractant:



**Figura 28. Isotherma amb 0.3M d'extractant i 35% decanol**

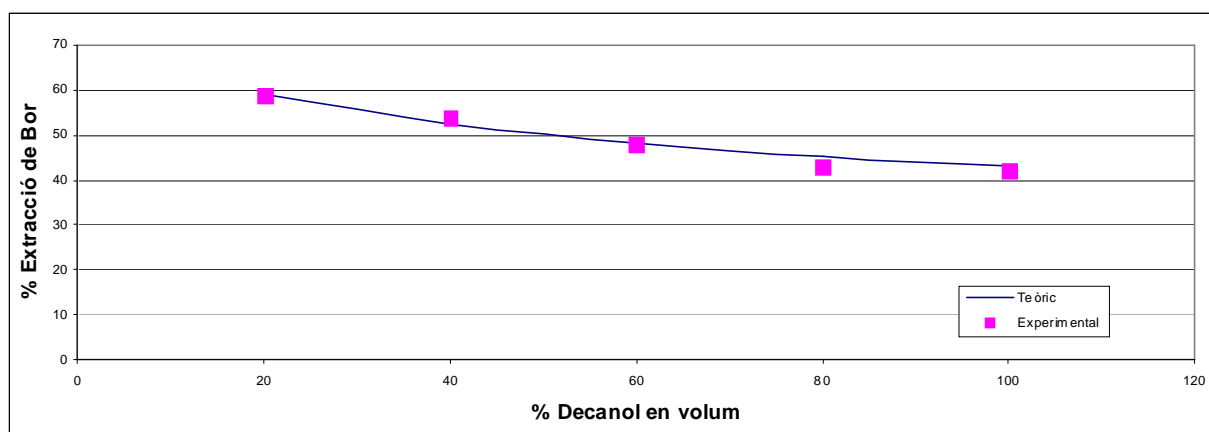




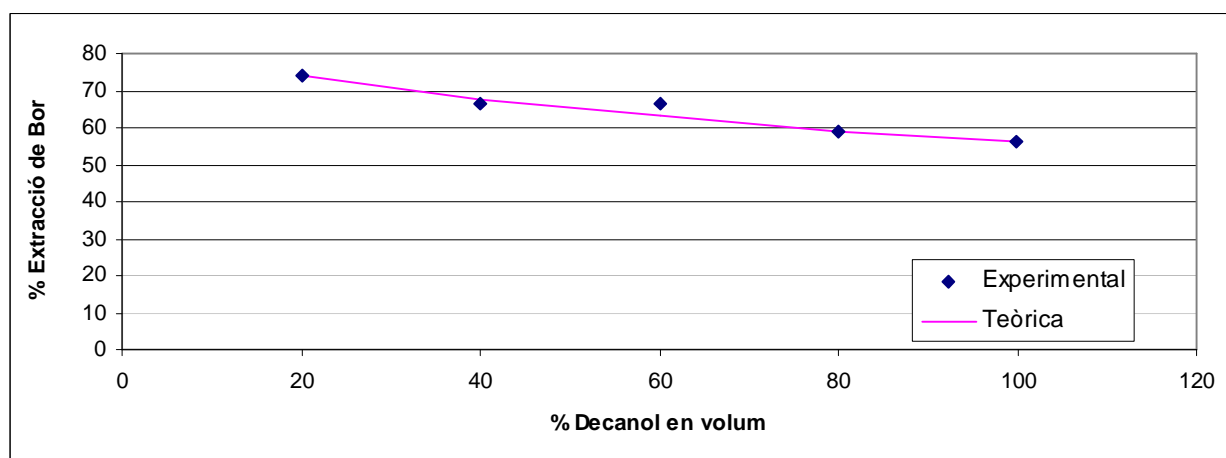
**Figura 29. Isotherma amb 0.6M d'extractant i 35% de decanol**

En aquests dos gràfics es pot observar que els resultats obtinguts experimentalment en aquests assaig són molt bons, ja que es ceneixen al model matemàtic trobat. Es pot trobar algun punt que no coincideixi amb el model, això pot ser degut a algun error humà al moment de fer l'experiment.

A les dues següents figures es mostren els valors obtinguts experimentalment als assaigs on s'analitza la capacitat d'extracció que presenta l'extractant a concentracions de 0.3 M i 0.6M amb decanol.



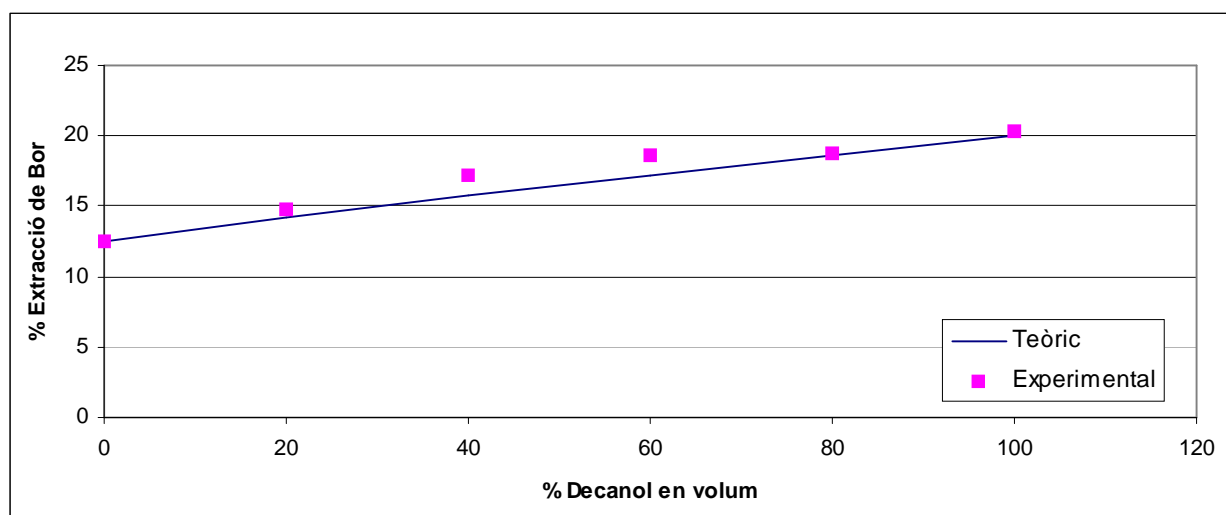
**Figura 30. Efecte del decanol amb 0.3 M d'extractant**



**Figura 31. Efecte del decanol amb 0.6 M d'extractant**

En aquests dos gràfics es corrobora que els valors obtinguts als assaigs són bons degut a que es ceneixen perfectament al model matemàtic.

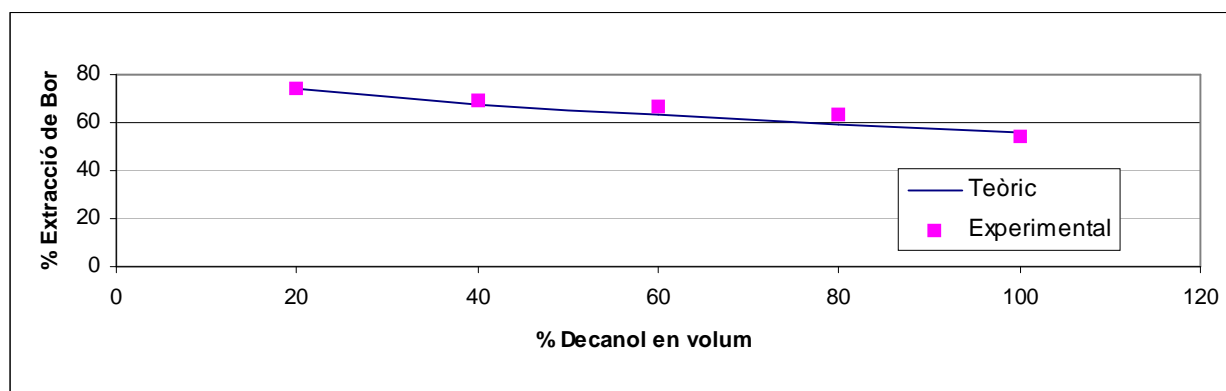
A la següent figura es mostren els resultats experimentals obtinguts en l'experiment on s'analitza la capacitat d'extracció que té el decanol amb absència d'extractant.



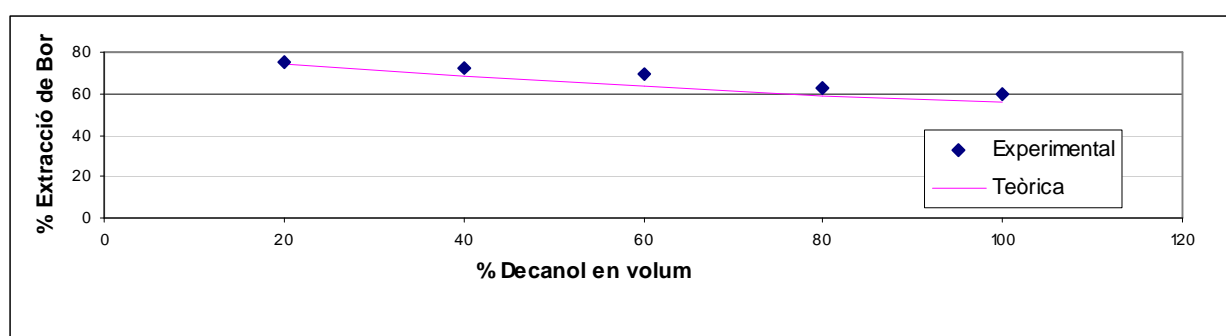
**Figura 32. Efecte del decanol amb absència d'extractant**

Es pot observar que els resultats experimentals d'aquest assaig són bons, ja que coincideixen amb el model matemàtic que s'ha proposat.

Per últim es mostren les següents figures que representen l'influència que té la força iònica d'una dissolució davant l'extracció.



**Figura 33. Efecte de l'extracció amb una força iònica de 0.25**



**Figura 34. Efecte de l'extracció amb una força iònica de 0.5**

En aquests dos gràfics es pot comprovar que els resultats experimentals són bastant bons, ja que s'ajusten bastant bé amb el model matemàtic i segueixen la seva mateixa tendència.

## 5.4.- Eliminació de bor mitjançant el procés de membrana

A l'igual que amb el procés d'extracció líquid-líquid, en aquest procés de membranes planes líquides suportades també es pretén eliminar bor. Més correcte seria dir, que amb aquesta tècnica el pretén transportar bor i si això es factible, poder aplicar aquesta tècnica per eliminar-lo.

Per a realitzar això s'ha utilitzat el BEPD com a extractant, a diferents concentracions, un 35% de decanol com a modificador de fase i querosè com a dissolvent, per poder extreure bor i trobar la permeabilitat de la membrana.

### 5.4.1.- Material utilitzat

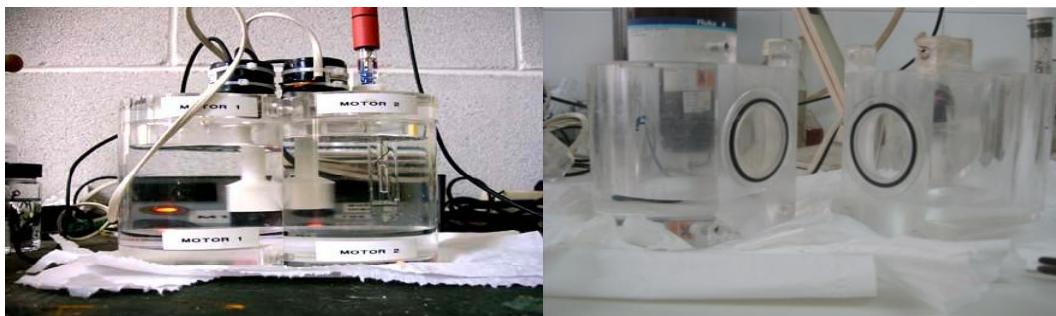
L'únic material específic que s'ha utilitzat en aquesta part del projecte és una membrana líquida suportada. Tots els altres materials són els que comunament s'utilitzen dins un laboratori.

Aquesta membrana està feta d'un material hidrofòbic (PVDF) que té un diàmetre de 0.45mm i el diàmetre de por és de 0.45  $\mu\text{m}$ . La superfície d'aquesta s'impregna amb la fase orgànica, que és la que realment funciona com a membrana líquida. D'aquesta manera, la superfície de la membrana només serveix com a suport de la membrana líquida. A continuació es mostra una fotografia d'ella.



**Figura 35. Fotografia d'una membrana líquida suportada**

- Cronòmetre
- Balança: Marca COBOS (veure figura 12)
- Agitador-calefactor magnètic: Marca AGIMATIC-N (veure figura 13)
- Cel·les d'extracció amb membrana SLM plana i pales d'agitació connectades a un motor.



**Figures 36 i 37. Membranes líquides suportades, muntada / Membranes líquides suportades, desmuntada**

#### **5.4.2.- Reactius utilitzats**

##### **- DISSOLUCIÓ D'ALIMENTACIÓ (carga)**

Per a preparar la dissolució d'alimentació s'ha utilitzat com a reactius l'àcid bòric i el sulfat de sodi.

### **- DISSOLUCIÓ D'STRIPPING**

Per a preparar la dissolució d'stripping s'ha utilitzat com a reactius l'hidròxid de sodi i el clorur de sodi.

Aquesta dissolució té la finalitat d'extreure tot el solut que s'ha pogut quedar a l'extracte després de realitzar l'etapa anterior d'extracció.

### **- FASE ORGÀNICA (membrana)**

Per a prepara la fase orgànica s'ha el decanol com a modificador de fase i el BEPD com a extractant.

#### **5.4.3.- Procediment**

Tots els experiments que s'han fet en aquesta part del projecte, s'han dut a terme en un muntatge compost per dues cel·les o compartiments cilíndrics de metacrilat, amb una capacitat de 221 cm<sup>3</sup>, cada un, i separats per un forat circular de 3.8 cm de diàmetre, on es col·loca la membrana (veure figures 36 i 37).

S'han realitzat una sèrie de cinc experiments idèntics, on l'única diferència o variació és la fase orgànica de cadascun d'ells.

Les fases orgàniques que s'ha utilitzat són les següents:

Experiment 1: 0M BEPD i 35% decanol

Experiment 2: 0.15M BEPD i 35% decanol

Experiment 3: 0.3M BEPD i 35% decanol

Experiment 4: 0.45M BEPD i 35% decanol

Experiment 5: 0.6M BEPD i 35% decanol

Els passos a seguir per fer cada experiment són els següents:

- 1) Impregnar la membrana durant 12 hores amb la fase orgànica que correspon per a cada experiment. És molt important deixar la membrana en remull tantes hores per a que aquesta quedi totalment impregnada amb la fase orgànica. Per a fer això es fica en un petit plat, amb les mateixes dimensions que la membrana, la fase orgànica i allà es fica la membrana i es tapa.
- 2) Un cop passades les 12 hores es retira la membrana del recipient, amb l'ajuda d'unes pinces, i amb molta cura es procedeix a rentar la membrana amb aigua bidestil·lada.

- 3) Quan el muntatge ja està fet es procedeix a omplir la cel·la de la dreta amb 210 ml de dissolució d'stripping. La dissolució d'stripping conté 0.1M de hidròxid de sodi i 0.2M de clorur de sodi.
- 4) Omplir la cel·la esquerra amb 210 ml de dissolució d'alimentació o carga. Aquesta dissolució conté 1000 mg/l de bor i 0.5M de sulfat de sodi.
- 5) Immediatament estigui la dissolució d'alimentació dins la cel·la, s'ha de ficar el cronòmetre en marxa.
- 6) Ficar en marxa, a la vegada que el cronòmetre, els motors, de manera que els agitadors comencen a funcionar a una velocitat de 1400 rpm aproximadament.
- 7) A partir d'aquí, i al voltant de cada hora i mitja, es procedeix a prendre mostres de la cel·la d'stripping.

Per a fer aquesta presa de mostra es pipetegen 14 ml de mostra, amb l'ajut d'una micropipeta. Un cop extrets el 14 ml, s'han d'afegir a la cel·la 14 ml més de la mateixa dissolució d'stripping que hi ha dins la cel·la, per tal de mantenir els volums constants.

Cada cop que s'extregui una mostra és molt important anotar a l'hora que s'ha extret per poder fer els futurs càlculs.

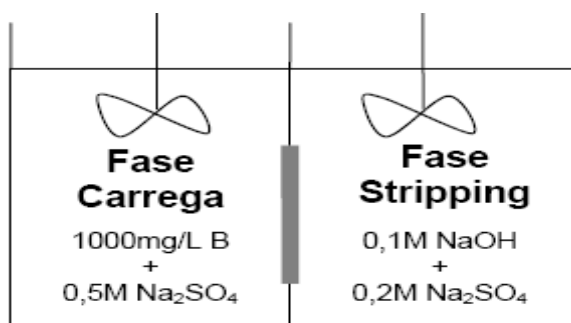


Figura 38. Dibuix de les dissolucions de cada cel·la

#### 5.4.4.- Assaigs i resultats

En aquest apartat es mostra d'una manera visual, és a dir, mitjançant unes gràfiques, els resultats que s'han obtingut alhora de fer els assaigs corresponents, i els respectius càlculs es mostren i s'especifiquen a l'Anex 4.

En les següents figures es presenten, en diferents gràfiques, com varien les concentracions de bor davant el temps. En totes elles hi ha com a mínim dues línies de l'evolució de la concentració de bor a

l'stripping en el temps, ja que els experiments s'han fet en tres cel·les, en paral·lel funcionant al mateix temps, per tal de tenir resultats fiables.

En aquesta gràfica es mostren els resultats obtinguts a l'utilitzar com a fase orgànica, 0M BEPD i 35% decanol en querosè:

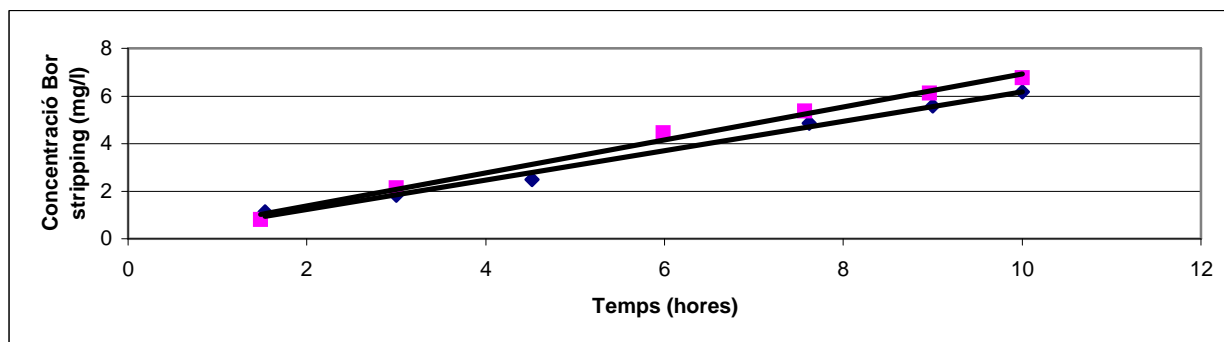


Figura 39. Gràfica de l'experiment 1 amb fase orgànica de 0M BEPD i 35% decanol

Per una fase orgànica de 0.15 M BEPD i 35% decanol en querosè, els resultats es mostren a la figura 40.

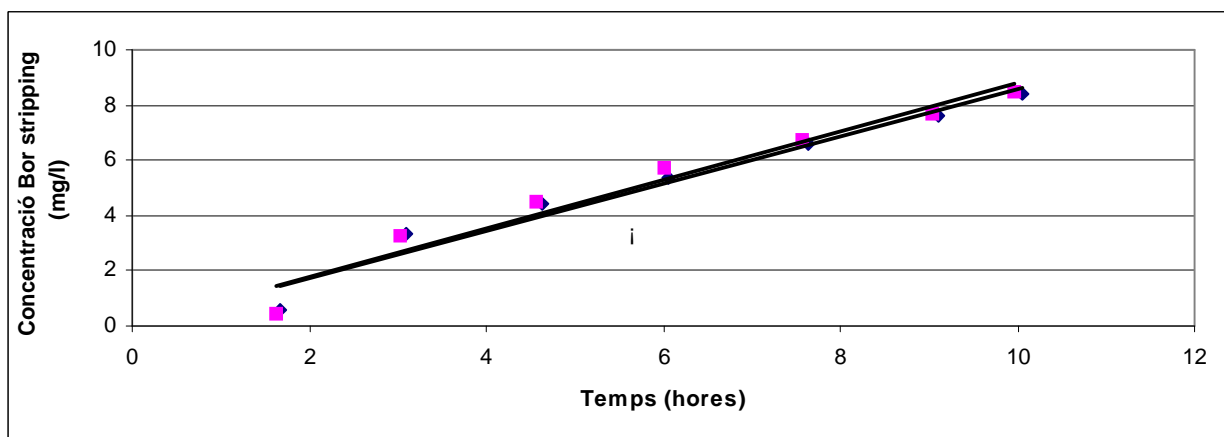
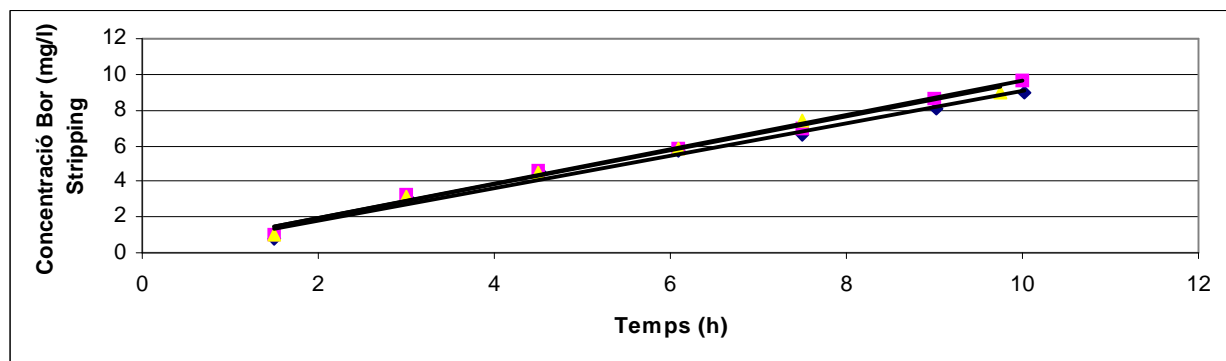


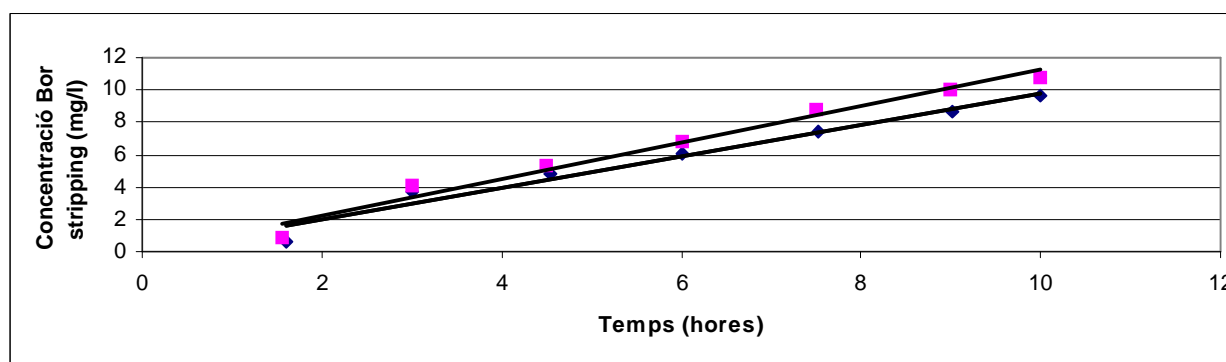
Figura 40. Gràfica de l'experiment 2 amb fase orgànica de 0.15M BEPD i 35% decanol

A les figures 41 i 42 es mostren els resultats obtinguts per les concentracions de BEPD de 0.3 i 0.6 M amb 35% decanol en querosè.



**Figura 41.** Gràfica de l'experiment 3 amb fase orgànica de 0.3M BEPD i 35% decanol

En aquest cas s'ha treballat amb tres cel·les, dues de les quals han donat resultats pràcticament idèntics.



**Figura 42.** Gràfica de l'experiment 4 amb fase orgànica de 0.45M BEPD i 35% decanol

En aquesta dues gràfiques que es mostren a continuació, es poden veure els resultats obtinguts al utilitzar com a fase orgànica, 0.6M BEPD i 35% decanol.

A la figura 43 els resultats de les tres cel·les van sortir molt dispersos, ja que en 10 hores d'experiment, la concentració de bot en l'stripping variava entre 12 i 17 mg/l. És per això que es va optar per repetir l'experiment i els resultats que es van obtenir es representen a la figura 44.



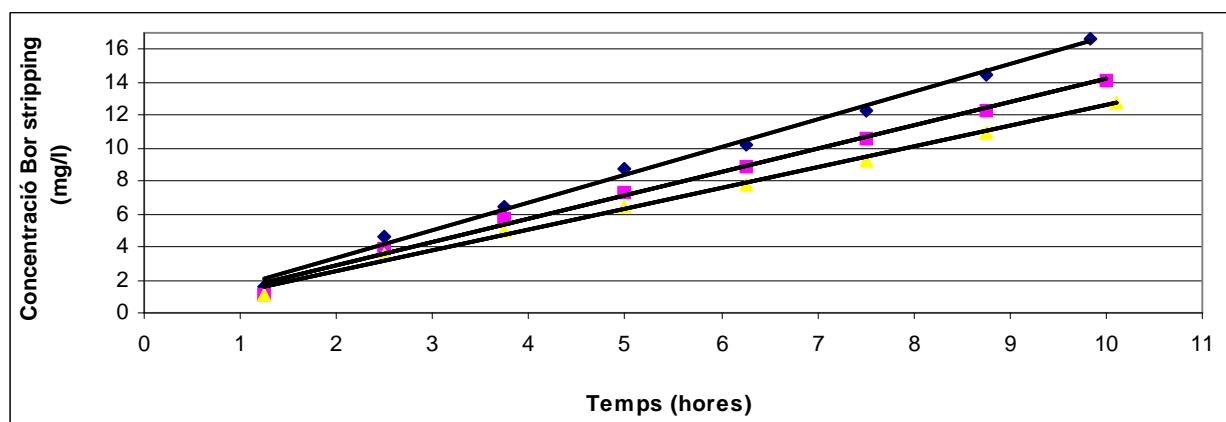


Figura 43. Gràfica de l'experiment 5 amb fase orgànica de 0.6M BEPD i 35% decanol

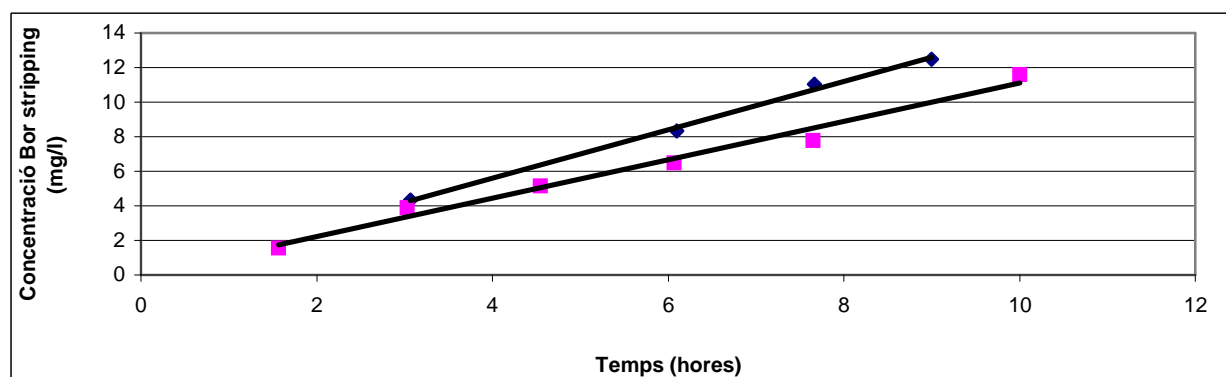


Figura 44. Gràfica de l'experiment 5 amb fase orgànica de 0.6M BEPD i 35% decanol

Després de 10 hores de treball els resultats han sortit més coherents perquè la concentració de bor en l'stripping varia entre 12 i 14 mg/l.

La següent taula plasma els resultats de les concentracions de bor en l'stripping que s'han transferit al final de cada experiment, a través de la membrana

[BEPD] (mol/l)	Concentració de bor transferida en l'stripping (mg/l)
0	6-7
0.15	8.5
0.3	9-10
0.45	10-11
0.6 (repetida)	11-14
0.6	12.5-17

Taula 9. Concentració de bor, després de 10 hores, transferides a l'streipping

Com a conclusió de tots aquests assaigs es pot dir que s'observa un augment lineal de la concentració de bor que es transporta de la dissolució d'alimentació, a la dissolució d'stripping, a mesura que va transcorrent el temps."

Per altra banda, també es pot dir que hi ha un augment progressiu de la concentració de bor a la dissolució d'stripping, a mesura que s'augmenta la concentració d'extractant, a la fase orgànica.

## 5.5.- Modelització de les membranes

En primer lloc, per a dur a terme la modelització de les membranes es procedeix a fer un balanç de matèria, en estat estacionari, d'àcid bòric, tot això agafant com a referència el compartiment on està la fase d'alimentació.

Aquest balanç diu el següent:

L'acumulació d'àcid bòric (A) és igual a l'entrada d'àcid bòric (E), més la producció d'àcid bòric (P), menys la sortida d'àcid bòric (S), menys l'àcid bòric que es consumeix (C). Quedant la següent equació:

$$A = E + P - S - C$$

Com en tots els assaigs d'aquesta part del projecte s'està transportant àcid bòric, s'ha de tenir present un nou paràmetre, com és la velocitat de transport d'àcid bòric, on a continuació es mostra la seva equació:

$$\frac{d[molH_3BO_3]}{A \cdot dt} = -N$$

On:

- N és la velocitat de transport d'àcid bòric (mol/h)
- t és el temps (hores)
- n són els mols d'àcid bòric que es transfereixen.
- A és l'àrea de la membrana (m<sup>2</sup>)

Si es segueix desenvolupant l'equació s'obté el següent:

$$\frac{d(VC_{\text{àc.bòric}})}{dt} = \frac{V \cdot dC_{\text{àc.bòric}}}{dt} = -PA(C_1 - C_2)$$

On:

- V és el volum (cm<sup>3</sup>)
- C àc.bòric és la concentració d'àcid bòric (mol/l)
- C<sub>1</sub> és la concentració d'àcid bòric (mol/l) a la dissolució d'alimentació.
- C<sub>2</sub> és la concentració d'àcid bòric (mol/l) a la dissolució d'stripping.

Com que estem treballant amb un balanç de matèria d'àcid bòric, l'àcid bòric transferit no pot existir com a tal, en la cel·la d'stripping, donat que el pH és de 13, i per tant, se'ns formen borats. En aquestes condicions es pot dir que la concentració d'àcid bòric a la cel·la d'stripping és 0, i en el model considerem que  $C_2 = 0$ .

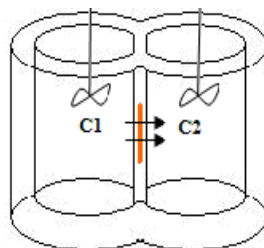


Figura 45. Esquema del procés de membrana

Si es segueix desenvolupant l'equació al final s'obté la següent:

$$\frac{dC_{\text{Ac.bòric}}}{C_1} = -\frac{PA}{V} \cdot dt$$

On:

- P és el coeficient de permeabilitat de la membrana (cm/h)
- A és l'àrea de la membrana (cm<sup>2</sup>)

Si s'integra l'equació s'obté el següent:

$$\ln \frac{C_1}{C_{1\text{inicial}}} = -\frac{PA}{V} \cdot t$$

On:

- $C_{1\text{inicial}}$  és la concentració inicial d'àcid bòric a la cel·la d'alimentació (mol/l)

La representació gràfica del  $\ln(C_1/C_{1\text{inicial}})$ , davant el temps expressat en hores, permet trobar la permeabilitat de la membrana, gràcies al pendent de la recta. Aquest paràmetre és un indicador de la facilitat que té la membrana per transferir bor d'un costat a l'altre.

A continuació es mostren les gràfiques 46, 47, 48, 49 i 50, les rectes corresponents a l'equació anteriorment esmentada, mitjançant les què obtindrem el pendent en funció de la concentració de BEPD utilitzada:

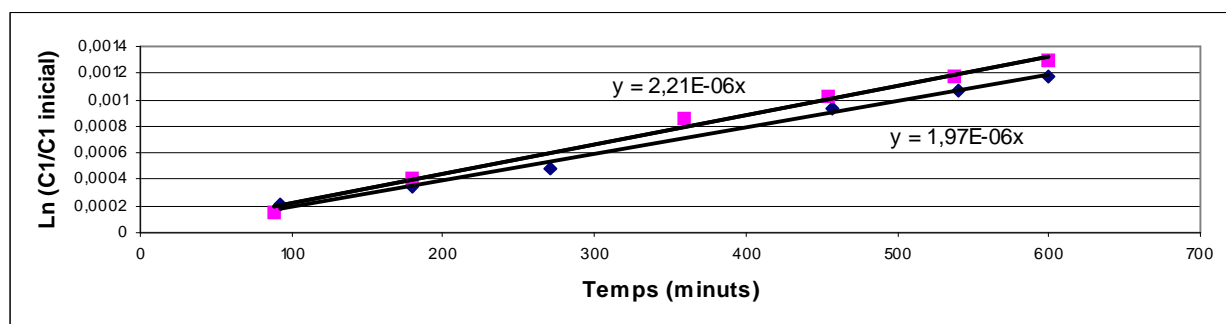


Figura 46. Gràfica del 0M BEPD i 35% decanol

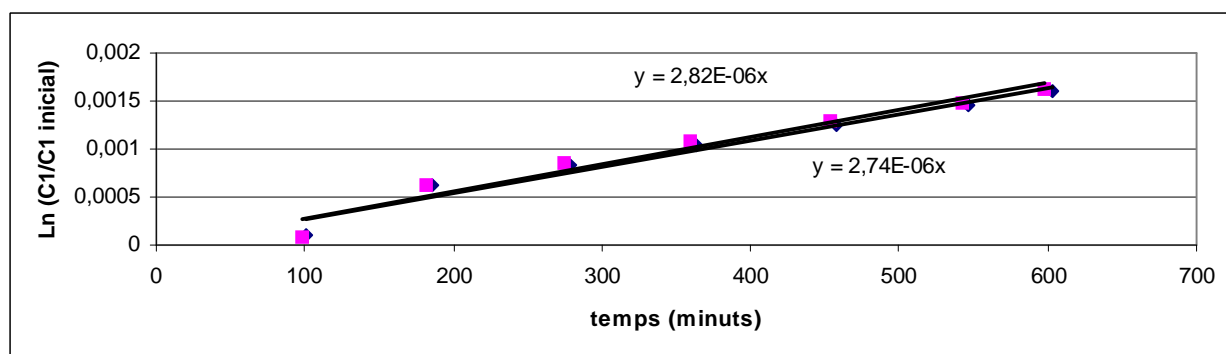


Figura 47. Gràfica del 0.15M BEPD i 35% decanol

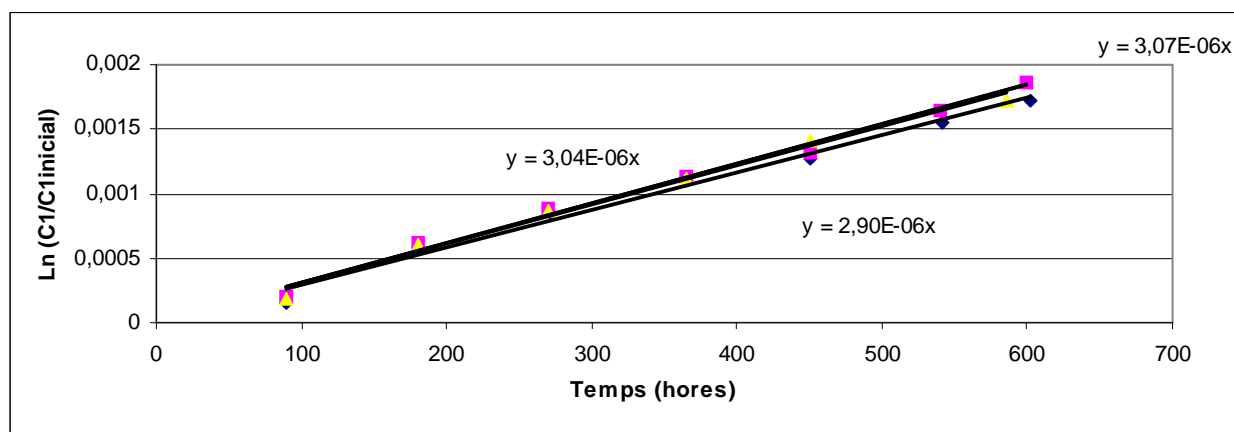


Figura 48. Gràfica del 0.3 M BEPD i 35% decanol

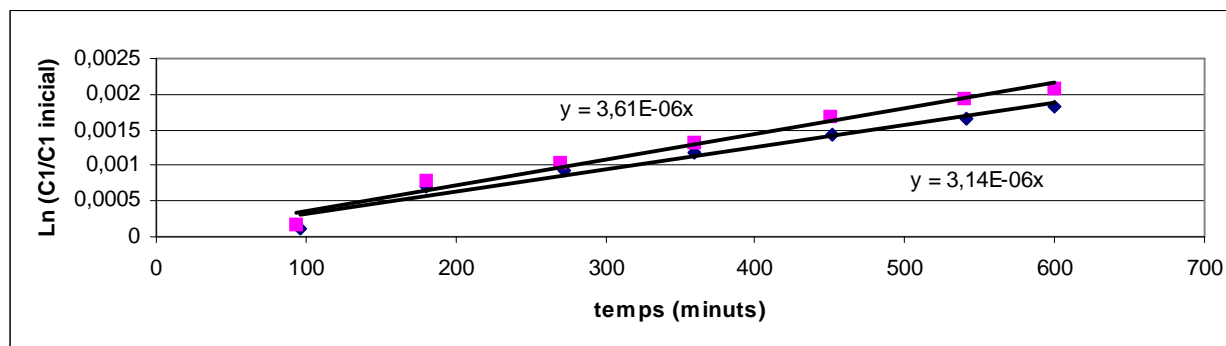


Figura 49. Gràfica del 0.45M BEPD i 35% decanol

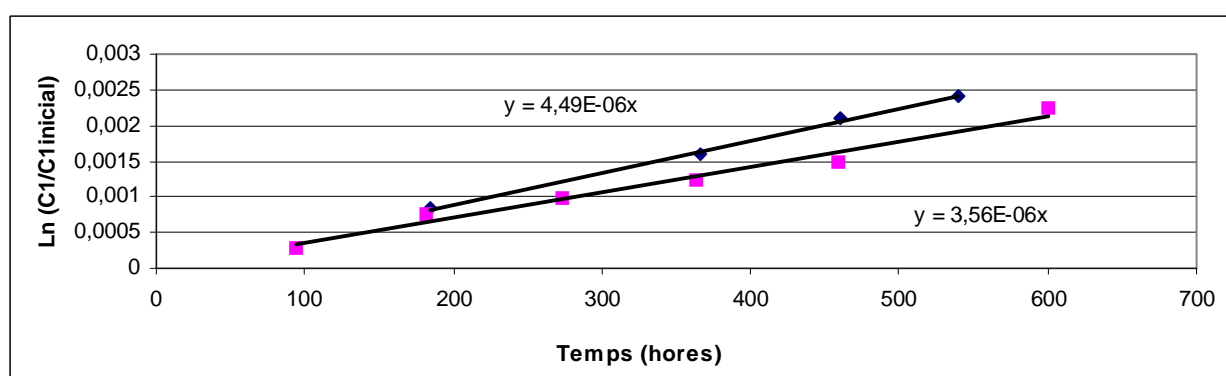


Figura 50. Gràfica del 0.6M BEPD i 35% decanol

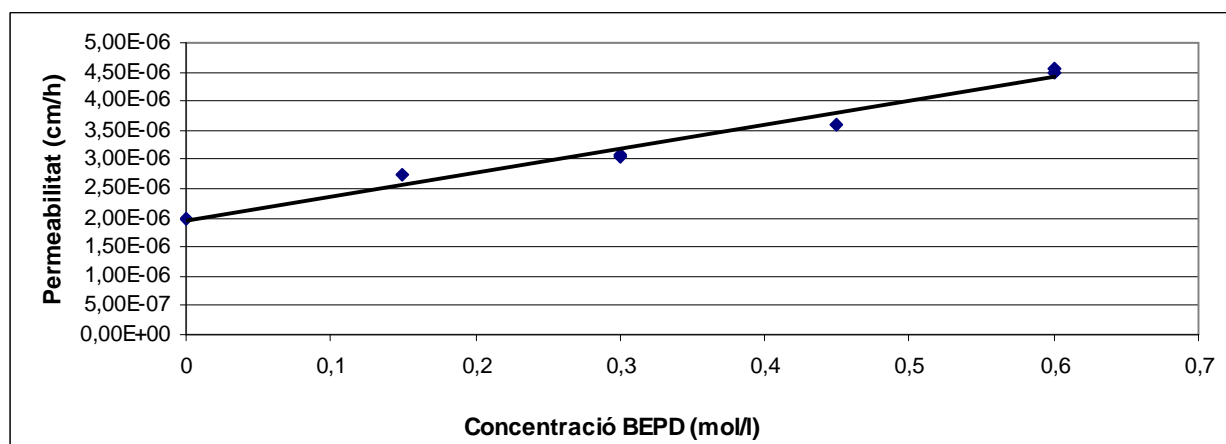
Els resultats de la permeabilitat obtinguda en cada assaig es mostren a la taula següent:

[BEPD] mg/l	PERMEABILITAT (cm/h)
0	$1.97 \cdot 10^{-6}$ ; $2.21 \cdot 10^{-6}$
0.15	$2.74 \cdot 10^{-6}$ ; $2.82 \cdot 10^{-6}$
0.3	$2.90 \cdot 10^{-6}$ ; $3.07 \cdot 10^{-6}$ ; $3.04 \cdot 10^{-6}$
0.45	$3.14 \cdot 10^{-6}$ ; $3.61 \cdot 10^{-6}$
0.6	$5.38 \cdot 10^{-6}$ ; $4.54 \cdot 10^{-6}$ ; $4.49 \cdot 10^{-6}$ ; $4.03 \cdot 10^{-6}$ ; $3.56 \cdot 10^{-6}$

Taula 10. Permeabilitat per a cada concentració d'extractant

Els valors obtinguts de permeabilitat són bastant baixos. Això vol dir que el transport de bor és lent. Però de tota manera, la separació de bor pot ser viable en configuracions de membranes on la relació àrea-volum sigui més gran.

Una representació gràfica de la dependència de la permeabilitat amb la concentració d'extractant es mostra a la figura 51. Per fer la gràfica i trobar una equació d'aquesta dependència s'han agafat els valors que estan colorejats amb verd.



**Figura 51. Gràfica de la permeabilitat davant la concentració d'extractant**

Es pot observar que la permeabilitat de la membrana augmenta a mesura que augmenta la concentració d'extractant.

L'equació de la permeabilitat que s'ha trobat és la següent:

$$P = 4.12 \cdot 10^{-6} [\text{BEPD}] + 1.94 \cdot 10^{-6}$$

## 6.- Conclusions

Un cop s'ha acabat l'estudi sobre l'extracció del bor en medi sulfats es procedeix a esmentar les conclusions a les que s'ha arribat:

- Després de fer nombrosos assaigs amb diferents extractants de la mateixa família, es pot determinar que el nostre extractant (BEPD) és el que treballa millor, oferint percentatges d'extracció de bor més alts i més constants, després de realitzar successives extraccions, amb el decanol com a modificador de fase en querosè.

- El percentatge d'extracció de bor augmenta, quan a la vegada també augmenta la concentració d'extractant.

- S'ha demostrat que el decanol i el querosè, que són els altres dos components que formen la fase orgànica, influeixen en l'extracció del bor, ja que ofereixen un petit percentatge d'extracció. Essent aquest d'un 12%.

- També s'ha trobat que, per una concentració fixa d'extractant, a mesura que augmenta la concentració del modificador de fase (decanol), el percentatge d'extracció disminueix. Això és degut a que aquests dos reactius, al entrar en contacte, es solvaten desfavorint l'extracció, ja que la concentració de l'extractant disponible per a reaccionar amb el bòric, disminueix.

- S'ha comprovat, variant la concentració d'extractant, que el coeficient estequiomètric de la reacció, que té lloc entre l'extractant i l'àcid bòric és (1:1).

- S'ha proposat mitjançant els valors experimentals dels assaigs fets per la tecnologia de l'extracció líquid-líquid que aquest sistema de separació de bor té lloc principalment per la reacció d'extracció amb l'extractant, però també s'extreu àcid bòric a través del decanol i del queros, en menys extensió. Mitjançant la macro (SOLVER) de l'excel, s'han determinat els valors de totes les constants d'extracció de l'àcid bòric per aquestes tres vies. Essent aquestes  $K_{EB} = 9.08836$ ,  $K_{BD} = 0.4787$ ,  $K_{BK} = 0.03126$ . També s'ha inclòs en el model, la reacció entre l'extractant i el decanol, donant un valor per aquesta reacció de  $K_{ED} = 0.75007$ .

Aquest model serveix per a predir el comportament de qualsevol extracció líquid-líquid que es faci per l'àcid bòric, en qualsevol condició del medi, utilitzant aquest sistema.

- Als assaigs realitzats mitjançant la tecnologia de membranes s'ha determinat que la permeabilitat augmenta a la vegada que augmenta la concentració d'extractant. Per aquesta raó es pot dir que aquesta tecnologia és viable i efectiva per a eliminar bor als efluent que el continguin.





## 7.- Bibliografia

1. Atkins, P.W. *Química general*. Edicions Ortega, Barcelona. 1991.
2. COULSON, J.M, RICHARDSON, J.R. *Ingeniería química II*. Editorial Reverté. 1982.
3. APHA, AWWA, WPCF. *Métodos normalizados*. Ediciones Díaz de Santos. 1992.
4. A. BABOR, J; IBARZ AZNÁRES, J. *Química general moderna*. Editorial Marín S.A. 1935.
5. Budevsky, O. *Fonaments de L'Anàlisi Química*. Ediciones Universitat de Barcelona, 1993.
6. Bachelier, N; Chappey, C; Langevin, D; Métayer, M; Verchère. *Facilitated transport of boric acid by 1,3-diols through supported liquid membranes*. Elsevier Science: Journal of membrane. 1996, 119, p.285-294.
7. Bachelier, N; Verchère, N. *Formation of neutral complexes of boric acid and acid with 1,3-diols in organic solvents and in aqueous solution*. Pergamon. Polyhedron, 1995, vo. 14, No. 13-14.
8. Winnacker K., Weingaertner E. *Tecnología Química I. Química industrial inorgánica*. Editorial Gustavo Gil. Barcelona.
9. HARRIS, C .D. *Anàlisi químic quantitativ*. Editorial Iberoamerica. 1992.
10. A. SKOOG, Jorgensen, JAMES HOLLER, F, A. NIEMAN, Timothy. *Principios de análisis instrumental*. Editorial McGraw Hill, 2001.
11. Jaksic, N. *The spectrophotometric determinations of boron in tourmalines*. J.Sreb. Chem. Soc. 2005, 70(2), p. 255-260.

- 
12. Rios Losada, Carolina. *Desenvolupament de mètodes de preconcentració emprant membranes líquides suportades i extracció en fase sòlida per a la determinació de l'herbicida Glifosat i el seu metabòlit Ama en aigües naturals*. Tesis doctoral. Universitat de Girona ([www.tdcat.cesca.es](http://www.tdcat.cesca.es))
  13. Cotton F.A., Wilkinsons G. *Química inorgànica avanzada*. Editorial Limusa. Grupo Noriega editores Méjico.
  14. De la Fuente García- SOTO, M. *Diseño y desarrollo de un sistema de tratamiento para la eliminación de boro en vertidos industriales*. Tesis doctoral, Escuela Técnica Superior de Ingenierías Industriales.
  15. M. Valcárcelo, M.S. *Teoría y práctica de la extracción líquido-líquido*. Alhambra. 1982.
  16. HENLEY, E.J, SEADER, J.D. *Operaciones de separación por etapas de equilibrio en ingeniería química*. Editorial Reverté, 1988.
  17. GEANKOPLIS, C.J. *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. Editorial Continental, 1982.

## 8. ANEXES

### ANEX 1: ASPECTE FÍSIC DE LES EXTRACCIONS, STRIPPINGS I RENTATS DELS ASSAIGS PREVIS

**Taula 1.1: Assaig 1**

MOSTRA	EXTRACCIÓ	STRIPPNG	RENTAT
<b>TBP (10% decanol)</b>	F.A: Transparent F.O: Més transparent	F.A: Transparent F.O: Transparent.	F.A: Transparent F.O: Poc blanca
<b>BEPD (10% decanol)</b>	F.A: Transparent F.O: Molt blanca	F.A: Transparent F.O: Molt blanca	F.A: Transparent F.O: Mig blanca
<b>BEPD (20% decanol)</b>	F.A: Transparent F.O: Molt blanca	F.A: Transparent F.O: Molt blanca	F.A: Transparent F.O: Mig blanca
<b>BEPD (30% decanol)</b>	F.A: Transparent F.O: Més transparent.	F.A: Transparent F.O: Molt blanca.	F.A: Transparent F.O: Poc blanca
<b>BEPD (40% decanol)</b>	F.A: Transparent F.O: Molt blanca	F.A: Transparent F.O: Molt blanca	F.A: Transparent F.O: Molt blanca
<b>BEPD (50% decanol)</b>	F.A: Transparent F.O: Molt blanca	F.A: Transparent F.O: Molt blanca	F.A: Transparent F.O: Mig blanca

En aquest assaig totes les separacions han sigut molt bones i no s'ha observat cap problema.

**Taula 1.2: Assaig 2**

MOSTRA	EXTRACCIÓ	STRIPPNG	RENTAT
<b>TBP (10% decanol)</b>	F.A: Molt tèrbola F.O: Casi transparent	F.A: Poc transparent F.O: Transparent.	F.A: Transparent F.O: Transparent
<b>BEPD (10% decanol)</b>	F.A: Transparent F.O: Mig blanca	F.A: Poc transparent F.O: Molt blanca	F.A: Transparent F.O: Mig blanca
<b>BEPD (20% decanol)</b>	F.A: Transparent F.O: Mig blanca	F.A: Poc transparent F.O: Molt blanca	F.A: Transparent F.O: Mig blanca
<b>BEPD (30% decanol)</b>	F.A: Transparent F.O: Casi transparent	F.A: Transparent F.O: Molt blanca.	F.A: Transparent F.O: Transparent
<b>BEPD (40% decanol)</b>	F.A: Transparent F.O: Molt blanca	F.A: Transparent F.O: Molt blanca	F.A: Transparent F.O: Molt blanca
<b>BEPD (50% decanol)</b>	F.A: Transparent F.O: Mig blanca	F.A: Transparent F.O: Molt blanca	F.A: Transparent F.O: Mig blanca

En aquest assaig s'observa que a l'embut del TBP, com a extractant, la separació no és gens bona, ja que la fase aquosa ha quedat tèrbola, això significa que algun component de la fase orgànica ha passat a la fase aquosa.

És a partir d'aquest punt i en els següents assaigs, on l'embut del TBP ja no dona resultats bons i raonables degut a que tota l'estona hi ha algun component de la fase orgànica que ha quedat dins la fase aquosa.

**Taula 1.3: Assaig 3**

MOSTRA	EXTRACCIÓ	STRIPPNG	RENTAT
<b>TBP (10% decanol)</b>	F.A: Molt Tèrbola F.O: Molt blanca	F.A: Molt tèrbola F.O: Molt blanca	F.A: Transparent F.O: Blanca
<b>BEPD (10% decanol)</b>	F.A: Tèrbola F.O: Molt blanca	F.A: Poc transparent F.O: Molt blanca	F.A: Transparent F.O: Blanca
<b>BEPD (20% decanol)</b>	F.A: Tèrbola F.O: Molt blanca	F.A: Poc transparent F.O: Molt blanca	F.A: Transparent F.O: Blanca
<b>BEPD (30% decanol)</b>	F.A: Transparent F.O: Mig blanca	F.A: Transparent F.O: Molt blanca	F.A: Transparent F.O: Transparent
<b>BEPD (40% decanol)</b>	F.A: Tèrbola F.O: Molt blanca	F.A: Poc transparent F.O: Molt blanca	F.A: Transparent F.O: Blanca
<b>BEPD (50% decanol)</b>	F.A: Transparent F.O: Mig blanca	F.A: Transparent F.O: Molt blanca	F.A: Transparent F.O: Transparent

**Taula 1.4: Assaig 4**

MOSTRA	EXTRACCIÓ	STRIPPNG	RENTAT
<b>TBP (10% decanol)</b>	F.A: Molt Tèrbola F.O: Molt blanca	F.A: Molt tèrbola F.O: Molt blanca	F.A: Transparent F.O: Blanca
<b>BEPD (10% decanol)</b>	F.A: Tèrbola F.O: Mig blanca	F.A: Poc transparent F.O: Molt blanca	F.A: Transparent F.O: Blanca
<b>BEPD (20% decanol)</b>	F.A: Tèrbola F.O: Mig blanca	F.A: Molt tèrbola F.O: Molt blanca	F.A: Transparent F.O: Blanca
<b>BEPD (30% decanol)</b>	F.A: Transparent F.O: Casi transparent	F.A: Transparent F.O: Menys blanca	F.A: Transparent F.O: Transparent
<b>BEPD (40% decanol)</b>	F.A: Transparent F.O: Molt blanca	F.A: Poc transparent F.O: Molt blanca	F.A: Transparent F.O: Molt blanca
<b>BEPD (50% decanol)</b>	F.A: Transparent F.O: Mig blanca	F.A: Transparent F.O: Molt blanca	F.A: Transparent F.O: Transparent

**Taula 1.5: Assaig 5**

MOSTRA	EXTRACCIÓ	STRIPPNG	RENTAT
<b>TBP (10% decanol)</b>	F.A: Molt Tèrbola F.O: Mig blanca	F.A: Transparent F.O: Mig blanca	
<b>BEPD (10% decanol)</b>	F.A: Tèrbola F.O: Mig blanca	F.A: Transparent F.O: Mig blanca	
<b>BEPD (20% decanol)</b>	F.A: Tèrbola F.O: Mig blanca	F.A: Molt tèrbola F.O: Mig blanca	
<b>BEPD (30% decanol)</b>	F.A: Transparent F.O: Casi transparent	F.A: Transparent F.O: Transparent	
<b>BEPD (40% decanol)</b>	F.A: Tèrbola F.O: Molt blanca	F.A: Transparent F.O: Molt blanca	
<b>BEPD (50% decanol)</b>	F.A: Transparent F.O: Mig blanca	F.A: Transparent F.O: Transparent	

A la taula s'observa que la columna on s'apunten els aspectes físics de l'etapa de rentat, no hi ha res apuntat. Això és degut a que, com no es seguiràn fent més extraccions no cal fer l'etapa de rentat perquè no s'ha de tornar a reutilitzar l'extractant

## ANEX 2: RESULTATS OBTINGUTS ALS ASSAIG EXPERIMENTALS A L'EXTRACCIÓ LÍQUID-LÍQUID

**Taula 2.1: Variació de la concentració d'extractant**

[BEPD] mol/l	Dissolvent orgànic	Modificador de fase	[B] inicials mg/l	[B]extracció mg/l	%E
0	Querosè	35% decanol	1000	964.184	12.494
0.1	Querosè	35% decanol	1000	949.100	35.093
0.2	Querosè	35% decanol	1000	955.538	46.167
0.3	Querosè	35% decanol	1000	943.076	56.327
0.4	Querosè	35% decanol	1000	923.302	61.549
0.5	Querosè	35% decanol	1000	908.794	65.520
0.6	Querosè	35% decanol	1000	907.023	67.024

**Taula 2.2: Isotermes d'extracció**

**Taula 2.2.1: Isoterma d'extracció 0.3M BEPD**

[BEPD] mol/l	Modificador de fase	Dissolvent orgànic	[B] inicials mg/l	[B] F.O. mg/l	[B] F.A. mg/l
0.3	35% decanol	Querosè	500	284.141	215.859
0.3	35% decanol	Querosè	1000	545.725	454.275
0.3	35% decanol	Querosè	2000	1039.393	960.607
0.3	35% decanol	Querosè	3000	1477.617	1522.383
0.3	35% decanol	Querosè	4000	1845.015	2154.985
0.3	35% decanol	Querosè	6000	2093.872	3906.128
0.3	35% decanol	Querosè	7000	2691.746	4308.254

**Taula 2.2.2: Isoterma d'extracció 0.6M BEPD**

[BEPD] mol/l	Modificador de fase	Dissolvent orgànic	[B] inicials mg/l	[B] F.O. mg/l	[B] F.A. mg/l
0.6	35% decanol	Querosè	500	346.920	153.08
0.6	35% decanol	Querosè	1000	682.269	317.731
0.6	35% decanol	Querosè	2000	1319.690	680.31
0.6	35% decanol	Querosè	3000	1920.831	1079.169
0.6	35% decanol	Querosè	4000	2382.238	1617.762
0.6	35% decanol	Querosè	6000	3312.490	2687.51
0.6	35% decanol	Querosè	7000	3119.97	3880.03

**Taula 2.3: Efecte del decanol amb extractant****Taula 2.3.1: Efecte del decanol amb 0.3M BEPD**

[BEPD] mol/l	Modificador de fase	Dissolvent orgànic	[B] inicials mg/l	[B]extracció mg/l	%E
0.3	20% decanol	Querosè	1000	410.911	58.909
0.3	40% decanol	Querosè	1000	462.633	53.737
0.3	60% decanol	Querosè	1000	519.900	48.010
0.3	80% decanol	Querosè	1000	570.300	42.970
0.3	100% decanol	Querosè	1000	578.889	42.111

**Taula 2.3.2: Efecte del decanol amb 0.6M BEPD**

[BEPD] mol/l	Modificador de fase	Dissolvent orgànic	[B] inicials mg/l	[B]extracció mg/l	%E
0.6	20% decanol	Querosè	1000	259.643	74.036
0.6	40% decanol	Querosè	1000	335.552	66.442
0.6	60% decanol	Querosè	1000	333.443	66.656
0.6	80% decanol	Querosè	1000	412.252	58.775
0.6	100% decanol	Querosè	1000	437.210	56.279

**Taula 2.4: Efecte del decanol sense extractant**

Modificador de fase	Dissolvent orgànic	[B] inicials mg/l	[B]extracció mg/l	%E
0% decanol	Querosè	1000	875.583	12.442
20% decanol	Querosè	1000	852.142	14.786
40% decanol	Querosè	1000	828.675	17.133
60% decanol	Querosè	1000	813.767	18.623
80% decanol	Querosè	1000	812.883	18.712
100% decanol	Querosè	1000	797.483	20.252

**Taula 2.5: Efecte de la força iònica****Taula 2.5.1: Efecte amb una força iònica de 0.5**

[BEPD] mol/l	Modificador de fase	Dissolvent orgànic	[SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ] mol/l	[B] inicials mg/l	[B]extracció mg/l	%E
0.6	20% decanol	Querosè	0.333	1000	247.329	75.267
0.6	40% decanol	Querosè	0.333	1000	280.352	71.965
0.6	60% decanol	Querosè	0.333	1000	306.448	69.355
0.6	80% decanol	Querosè	0.333	1000	374.162	62.584
0.6	100% decanol	Querosè	0.333	1000	401.162	59.884

**Taula 2.5.2: Efecte amb una força iònica de 0.25**

[BEPD] mol/l	Modificador de fase	Dissolvent orgànic	[SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ] mol/l	[B] inicials mg/l	[B]extracció mg/l	%E
0.6	20% decanol	Querosè	0.166	1000	257.990	74.201
0.6	40% decanol	Querosè	0.166	1000	308.219	69.178
0.6	60% decanol	Querosè	0.166	1000	334.148	66.585
0.6	80% decanol	Querosè	0.166	1000	369.910	63.009
0.6	100% decanol	Querosè	0.166	1000	455.429	54.457

**ANEX 3: MODELITZACIÓ DE LES CONSTANTS D'EXTRACCIÓ****Taula 3.1: Determinació del coeficient estequiomètric de la reacció**

[BEPD] inicial (mol/l)	[H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> ] inicial (mol/l)	[H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> ]aquos (mol/l)	[H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> ]orgànic (mol/l)	D	Ln D	[BEPD] lliure (mol/l)	Ln [BEPD] lliure
0.2	0.09	0.050	0.040	0.807	0.241	0.160	-1.834
0.3	0.09	0.040	0.050	1.228	0.205	0.250	-1.385
0.4	0.09	0.036	0.054	1.530	0.426	0.346	-1.063
0.5	0.09	0.032	0.058	1.822	0.600	0.442	-0.817
0.6	0.09	0.031	0.059	1.951	0.668	0.541	-0.615

**Taula 3.2.1: Variació del percentatge d'extracció teòrica i experimental a diferents concentracions d'extractant**

[BEPD] inicial (mol/l)	[H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> ] inicial (mol/l)	[H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> ]aques (mol/l)	% Extra. Experimental	[BEPD] lliure (mol/l)	[H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> ] teòric (mol/l)	% Extr. teòrica	Error
0	0.09	0.081	12.494	0.000	0.078	15.318	7.975
0.1	0.09	0.060	35.093	0.034	0.062	32.971	4.504
0.2	0.09	0.050	46.167	0.071	0.051	45.157	1.021
0.3	0.09	0.040	56.327	0.109	0.043	54.015	5.347
0.4	0.09	0.036	61.549	0.148	0.037	60.434	1.255
0.5	0.09	0.032	65.520	0.188	0.032	65.339	0.033
0.6	0.09	0.031	67.024	0.226	0.029	69.095	4.290

**Taula 3.2.2: Isoterma 0.3M d'extractant i 35% decanol**

[BEPD] inicial (mol/l)	[H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> ] inicial (mol/l)	[H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> ]aques (mol/l)	% Extra. Experimental	[BEPD] lliure (mol/l)	[H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> ] teòric (mol/l)	% Extr. teòrica	Error
0.3	0.05	0.020	56.828	0.117	0.021	55.491	1.788
0.3	0.09	0.042	54.573	0.109	0.043	53.902	0.449
0.3	0.18	0.089	51.970	0.094	0.091	50.912	1.118
0.3	0.28	0.141	49.254	0.082	0.144	48.094	1.345
0.3	0.37	0.199	46.125	0.072	0.202	45.411	0.510
0.3	0.55	0.361	34.898	0.053	0.334	39.852	24.546
0.3	0.65	0.399	38.454	0.050	0.396	38.854	0.160

**Taula 3.2.3: Isoterma 0.6M d'extractant i 35% decanol**

[BEPD] inicial (mol/l)	[H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> ] inicial (mol/l)	[H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> ]aques (mol/l)	% Extra. Experimental	[BEPD] lliure (mol/l)	[H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> ] teòric (mol/l)	% Extr. teòrica	Error
0.6	0.05	0.014	69.384	0.239	0.014	70.216	0.692
0.6	0.09	0.029	68.227	0.227	0.029	69.170	0.889
0.6	0.18	0.063	65.985	0.203	0.061	67.000	1.032
0.6	0.28	0.100	64.027	0.183	0.098	64.807	0.609
0.6	0.37	0.150	59.556	0.161	0.14	62.125	6.599
0.6	0.55	0.249	55.208	0.129	0.235	57.576	5.607



**Taula 3.2.4: Efecte del decanol amb 0.3M d'extractant**

[BEPD] inicial (mol/l)	Decanol (mol/l)	[H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> ] inicial (mol/l)	[H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> ]aques (mol/l)	% Extra. Exp	[BEPD] lliure (mol/l)	[H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> ] teòric (mol/l)	% Extr. teò	Error
0.3	1.05	0.09	0.038	58.909	0.141	0.038	59.076	0.028
0.3	2.10	0.09	0.043	53.737	1.101	0.044	52.533	1.449
0.3	3.15	0.09	0.048	48.010	0.079	0.048	48.077	0.005
0.3	4.19	0.09	0.053	42.970	0.065	0.051	45.020	4.201
0.3	5.24	0.09	0.054	42.111	0.055	0.053	42.990	0.712

**Taula 3.2.5: Efecte del decanol amb 0.6M d'extractant**

[BEPD] inicial (mol/l)	Decanol (mol/l)	[H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> ] inicial (mol/l)	[H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> ]aq (mol/l)	% Extra Exp	[BEPD] lliure (mol/l)	[H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> ] teòric (mol/l)	% Extr teò	Error
0.6	1.05	0.09	0.024	74.035	0.299	0.023	74.257	0.049
0.6	2.10	0.09	0.031	66.444	0.210	0.029	67.701	1.578
0.6	3.15	0.09	0.030	66.655	0.465	0.034	63.043	13.04
0.6	4.19	0.09	0.038	58.774	0.134	0.037	59.068	0.086
0.6	5.24	0.09	0.040	56.279	0.113	0.040	56.136	0.021

**Taula 3.2.6: Efecte del decanol amb absència d'extractant**

Decanol (mol/l)	[H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> ] inicial (mol/l)	[H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> ]aques (mol/l)	% Extra. Experimental	[BEPD] lliure (mol/l)	[H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> ] teòric (mol/l)	% Extr. teòrica	Error
0	0.09	0.081	12.442	0	0.081	12.521	0.006
1.05	0.09	0.079	14.786	0	0.079	14.141	0.416
2.10	0.09	0.077	17.133	0	0.078	15.703	2.045
3.15	0.09	0.075	18.623	0	0.077	17.208	2.003
4.19	0.09	0.075	18.712	0	0.075	18.661	0.003
5.24	0.09	0.074	20.252	0	0.074	20.064	0.035

**Taula 3.2.7: Efecte l'extracció amb una força iònica de 0.25**

[BEPD] inicial (mol/l)	[H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> ] inicial (mol/l)	[H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> ]aques (mol/l)	% Extra. Experimental	[BEPD] lliure (mol/l)	[H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> ] teòric (mol/l)	% Extr. teòrica	Error
0.6	0.09	0.024	74.201	0.299	0.023	74.270	0.004
0.6	0.09	0.029	69.178	0.212	0.029	67.861	1.732
0.6	0.09	0.03	66.585	0.165	0.034	63.040	12.568
0.6	0.09	0.034	63.009	0.135	0.037	59.230	14.280
0.6	0.09	0.042	54.457	0.113	0.040	56.078	2.628

**Taula 3.2.8: Efecte l'extracció amb una força iònica de 0.5**

[BEPD] inicial (mol/l)	[H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> ] inicial (mol/l)	[H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> ]aques (mol/l)	% Extra. Exp	[BEPD] lliure (mol/l)	[H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> ] teòric (mol/l)	% Extr. teòrica	Error
0.6	0.09	0.023	75.267	0.300	0.023	74.350	0.840
0.6	0.09	0.026	71.965	0.214	0.029	68.026	15.508
0.6	0.09	0.028	69.355	0.166	0.034	63.171	38.240
0.6	0.09	0.035	62.583	0.134	0.037	59.213	11.357
0.6	0.09	0.037	59.884	0.114	0.040	56.249	13.210

## ANEX 4: RESULTATS OBTINGUTS ALS ASSATJOS EXPERIMENTAL A L'EXTRACCIÓ EN PROCESSOS DE MEMBRANA

**Taula 4.1: Assaig amb 0M BEPD**

Mostra	[BEP] mg/l	Modificador de fase	Dissolvent orgànic	Temps (hores)	[B]exp mg/l	[B]teòrica mg/l
1	0	35% decanol	Querosè	1.533	1.121	1.227
2	0	35% decanol	Querosè	3.000	1.821	1.927
3	0	35% decanol	Querosè	4.517	2.498	2.604
5	0	35% decanol	Querosè	7.617	4.846	4.846
6	0	35% decanol	Querosè	9.000	5.579	5.579
7	0	35% decanol	Querosè	10.000	6.169	6.169

Mostra	[BEP] mg/l	Modificador de fase	Dissolvent orgànic	Temps (hores)	[B]exp mg/l	[B]teòrica mg/l
1	0	35% decanol	Querosè	1.483	0.846	0.159
2	0	35% decanol	Querosè	3.000	2.138	1.481
4	0	35% decanol	Querosè	5.983	4.448	3.791
5	0	35% decanol	Querosè	7.567	5.358	4.701
6	0	35% decanol	Querosè	8.967	6.133	5.476
7	0	35% decanol	Querosè	10.000	6.753	6.096

**Taula 4.2: Assaigs amb 0.15M BEPD**

Mostra	[BEP] mg/l	Modificador de fase	Dissolvent orgànic	Temps (hores)	[B]exp mg/l	[B]teòrica mg/l
1	0.15	35% decanol	Querosè	1.68	0.547	0.465
2	0.15	35% decanol	Querosè	3.10	3.300	3.219
3	0.15	35% decanol	Querosè	4.63	4.409	4.327
4	0.15	35% decanol	Querosè	6.05	5.396	5.314
5	0.15	35% decanol	Querosè	7.63	6.563	6.482
6	0.15	35% decanol	Querosè	9.12	7.630	7.549
7	0.15	35% decanol	Querosè	10.05	8.407	8.325

Mostra	[BEP] mg/l	Modificador de fase	Dissolvent orgànic	Temps (hores)	[B]exp mg/l	[B]teòrica mg/l
1	0.15	35% decanol	Querosè	1.63	0.467	0.466
2	0.15	35% decanol	Querosè	3.03	.276	3.275
3	0.15	35% decanol	Querosè	4.57	4.463	4.463
4	0.15	35% decanol	Querosè	6.00	5.705	5.704
5	0.15	35% decanol	Querosè	7.5	6.764	6.764
6	0.15	35% decanol	Querosè	9.05	7.688	7.687
7	0.15	35% decanol	Querosè	9.97	8.513	8.513

**Taula 4.3: Assaigs amb 0.3M BEPD**

Mostra	[BEP] mg/l	Modificador de fase	Dissolvent orgànic	Temps (hores)	[B]exp mg/l	[B]teòrica mg/l
1	0.3	35% decanol	Querosè	1.5	0.823	0.273
2	0.3	35% decanol	Querosè	3.02	3.070	2.520
3	0.3	35% decanol	Querosè	4.52	4.443	3.893
4	0.3	35% decanol	Querosè	6.08	5.731	5.181
5	0.3	35% decanol	Querosè	7.5	6.659	6.109
6	0.3	35% decanol	Querosè	9.02	8.099	7.549
7	0.3	35% decanol	Querosè	10.03	8.933	8.443

Mostra	[BEP] mg/l	Modificador de fase	Dissolvent orgànic	Temps (hores)	[B]exp mg/l	[B]teòrica mg/l
1	0.3	35% decanol	Querosè	1.5	1.026	0.273
2	0.3	35% decanol	Querosè	3	3.263	2.510
3	0.3	35% decanol	Querosè	4.5	4.589	3.837
4	0.3	35% decanol	Querosè	6.08	5.871	5.119
5	0.3	35% decanol	Querosè	7.5	6.918	6.165
6	0.3	35% decanol	Querosè	9.02	8.591	7.838
7	0.3	35% decanol	Querosè	10	9.667	8.914

Mostra	[BEP] mg/l	Modificador de fase	Dissolvent orgànic	Temps (hores)	[B]exp mg/l	[B]teòrica mg/l
1	0.3	35% decanol	Querosè	1.5	0.973	0.278
2	0.3	35% decanol	Querosè	3	3.125	2.430
3	0.3	35% decanol	Querosè	4.5	4.537	3.842
4	0.3	35% decanol	Querosè	6.08	5.803	5.107
5	0.3	35% decanol	Querosè	7.5	7.380	6.684
6	0.3	35% decanol	Querosè	9.75	8.956	8.260

**Taula 4.4: Assaigs amb 0.45M BEPD**

Mostra	[BEP] mg/l	Modificador de fase	Dissolvent orgànic	Temps (hores)	[B]exp mg/l	[B]teòrica mg/l
1	0.45	35% decanol	Querosè	1.6	0.600	0.516
2	0.45	35% decanol	Querosè	3.00	3.676	3.592
3	0.45	35% decanol	Querosè	4.53	4.879	4.792
4	0.45	35% decanol	Querosè	6.00	6.090	6.006
5	0.45	35% decanol	Querosè	7.53	7.444	7.360
6	0.45	35% decanol	Querosè	9.02	8.615	8.570
7	0.45	35% decanol	Querosè	10.00	9.589	9.505

Mostra	[BEP] mg/l	Modificador de fase	Dissolvent orgànic	Temps (hores)	[B]exp mg/l	[B]teòrica mg/l
1	0.45	35% decanol	Querosè	1.57	0.824	0.528
2	0.45	35% decanol	Querosè	3	4.124	3.827
3	0.45	35% decanol	Querosè	4.5	5.371	5.075
4	0.45	35% decanol	Querosè	6	6.826	6.530
5	0.45	35% decanol	Querosè	7.5	8.792	8.496
6	0.45	35% decanol	Querosè	9	10.063	9.767
7	0.45	35% decanol	Querosè	10	10.819	10.522

**Taula 4.5: Assaigs amb 0.6M BEPD**

Mostra	[BEP] mg/l	Modificador de fase	Dissolvent orgànic	Temps (hores)	[B]exp mg/l	[B]teòrica mg/l
1	0.6	35% decanol	Querosè	1.25	1.552	0.366
2	0.6	35% decanol	Querosè	2.5	4.662	3.476
3	0.6	35% decanol	Querosè	3	6.424	5.238
4	0.6	35% decanol	Querosè	5	8.754	7.568
5	0.6	35% decanol	Querosè	6.25	10.245	9.059
6	0.6	35% decanol	Querosè	7.5	12.268	11.082
7	0.6	35% decanol	Querosè	8.75	14.510	13.324
8	0.6	35% decanol	Querosè	9.83	16.639	15.453

Mostra	[BEP] mg/l	Modificador de fase	Dissolvent orgànic	Temps (hores)	[B]exp mg/l	[B]teòrica mg/l
1	0.6	35% decanol	Querosè	1.25	1.103	0.298
2	0.6	35% decanol	Querosè	2.5	3.513	2.708
3	0.6	35% decanol	Querosè	3.75	4.923	4.118
4	0.6	35% decanol	Querosè	5	6.421	5.616
5	0.6	35% decanol	Querosè	6.25	7.816	7.011
6	0.6	35% decanol	Querosè	7.5	9.285	8.480
7	0.6	35% decanol	Querosè	8.75	10.989	10.184
8	0.6	35% decanol	Querosè	10.1	12.692	11.887

Mostra	[BEP] mg/l	Modificador de fase	Dissolvent orgànic	Temps (hores)	[B]exp mg/l	[B]teòrica mg/l
2	0.6	35% decanol	Querosè	3.07	4.338	5.029
4	0.6	35% decanol	Querosè	6.10	8.320	9.010
5	0.6	35% decanol	Querosè	7.67	11.025	11.715
6	0.6	35% decanol	Querosè	9.00	12.493	13.184

Mostra	[BEP] mg/l	Modificador de fase	Dissolvent orgànic	Temps (hores)	[B]exp mg/l	[B]teòrica mg/l
1	0.6	35% decanol	Querosè	1.25	1.113	0.309
2	0.6	35% decanol	Querosè	2.5	3.294	3.120
3	0.6	35% decanol	Querosè	3.75	5.722	4.917
4	0.6	35% decanol	Querosè	5	7.231	6.426
5	0.6	35% decanol	Querosè	6.25	8.815	8.010
6	0.6	35% decanol	Querosè	7.5	10.539	9.734
7	0.6	35% decanol	Querosè	8.75	12.316	11.511
8	0.6	35% decanol	Querosè	10	14.073	13.268

Mostra	[BEP] mg/l	Modificador de fase	Dissolvent orgànic	Temps (hores)	[B]exp mg/l	[B]teòrica mg/l
1	0.6	35% decanol	Querosè	1.57	1.539	0.301
2	0.6	35% decanol	Querosè	3.03	3.904	2.666
3	0.6	35% decanol	Querosè	4.55	5.157	3.918
4	0.6	35% decanol	Querosè	6.07	6.489	5.251
5	0.6	35% decanol	Querosè	7.65	7.793	6.555
7	0.6	35% decanol	Querosè	10.00	11.609	10.371

## ANEX 5: CÀLCULS

### ANEX 5.1: Preparació de la dissolució mare de bor

Durant la gran part d'aquest projecte s'ha treballat amb una dissolució mare de bor, la qual conté 1000 mg/l de bor i 0.5M de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Per a prepara aquesta dissolució s'han seguit aquests càlculs.

$$1l \cdot \frac{1000mgB}{1l} \cdot \frac{1g}{1000mg} \cdot \frac{1molH_3BO_3}{10.811gB} \cdot \frac{61.8329gH_3BO_3}{1molH_3BO_3} = 5.719 \frac{g}{l} H_3BO_3$$

$$1l \cdot \frac{0.5molNa_2SO_4}{1l} \cdot \frac{142.0216gNa_2SO_4}{1molNa_2SO_4} = 71.01gNa_2SO_4$$

Aquestes dues quantitats anteriors s'afegeixen juntes dins un matraç aforat d'un litre de capacitat i s'enrasen amb aigua destil·lada.

### **ANEX 5.2: Preparació de la dissolució d'stripping**

Per a prepara la dissolució d'stripping s'ha fet gairebé el mateix i s'han seguit els següents càlculs.

$$1l \cdot \frac{0.2molNaOH}{1l} \cdot \frac{40gNaOH}{1molNaOH} = 8gNaOH$$

$$1l \cdot \frac{0.3molNaCl}{1l} \cdot \frac{58.43gNaCl}{1molNaCl} = 17.529gNaCl$$

A l'igual que a la preparació de la dissolució anterior, s'afegeix dins un matraç d'un litre de volum aquestes dues quantitats i s'enrasen amb aigua destil·lada.

### **ANEX 5.3: Preparació de la dissolució de rentant**

$$500ml \cdot \frac{0.5molNa_2SO_4}{1000ml} \cdot \frac{142.0216gNa_2SO_4}{1molNa_2SO_4} = 35.505gNa_2SO_4$$

Per a preparar aquesta dissolució un cop s'ha dissolt aquesta quantitat de sulfat de sodi en un matraç d'un litre amb aigua destil·lada, també s'hauran d'afegir dos gotes d'àcid sulfúric (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>).

### **ANEX 5.4: Preparació del patró de 10 mg/l de bor**

Aquest patró de bor de 10 mg/l es fa a partir de la dissolució mare de bor, la que conté 1000 mg/l de bor, per a preparar-lo s'han de seguir els següents passos:

$$C \cdot V = C' \cdot V'$$

$$1000 \frac{mg}{l} \cdot V = 10 \frac{mg}{l} \cdot 0.1l$$

$$V = 0.001litre = \mathbf{1 \text{ ml de la dissolució mare de bor}}$$

Aquest càlculs mostra que per a preparar una dissolució de bor de 10 mg/l s'ha de pipetejar 1 ml de la dissolució mare de bor i enrasar-lo amb 100 ml d'aigua bidestil·lada.

#### **ANEX 5.5: Quantitat de mostra que s'ha d'agafar per analitzar a l'espectrofotòmetre d'absorció molecular.**

A cap d'aquests assaigs es pot agafar mostra i directament portar-la a analitzar a l'espectrofotòmetre, degut a que aquestes tenen una concentració molt elevada de bor i seria impossible que l'espectrofotòmetre pogués fer una bona lectura d'aquestes.

Per aquesta raó, abans d'això haurem de diluir les mostres, tant com es pugui, fins que s'arribi a una concentració de bor on l'espectrofotòmetre pugui llegir-les.

Per a fer aquests càlculs es parteix dels strippings, ja que acostumen a tenir una concentració molt elevada. Es sap que l'espectrofotòmetre té un rang màxim de lectura de 30 µg, llavors es segueix el següent càlcul:

$$C \cdot V = C' \cdot V'$$

$$\frac{1l}{1000ml} \cdot 0.15ml \cdot C = 30\mu g \cdot \frac{1mg}{1000\mu g} \quad \Rightarrow \quad C = 200 \text{ mg/l}$$

Per a que els strippings puguin ser llegits per l'espectrofotòmetre i entrin dins del rang de lectura, s'ha trobat que han de tenir una concentració de 200 mg/l. Ara ja es poden llegir les extraccions perquè es sap que la diferència entre la concentració inicial i la concentració dels strippings és la concentració de bot després de l'extracció, a la fase aquosa.

$$[B]_{\text{extracció}} = [B]_{\text{inicial}} - [B]_{\text{stripping}}$$

Llavors es segueix el següent càlcul:

$$V \cdot 800 \frac{mg}{l} = 10ml \cdot 200 \frac{mg}{l} \quad \Rightarrow \quad V = 2.5 \text{ ml}$$

Amb aquests càlculs ja es pot preparar una dilució de 10 ml, la què conté, 2.5 ml de mostra i 7.5 ml d'aigua bidestil·lada. D'aquesta dilució preparada es pipeteja, a un matràç de 25 ml, 150 µl d'aquesta i amb els respectius reactius que s'hi afegeixen, aquesta és la mostra que es porta a llegir a l'espectrofotòmetre.